



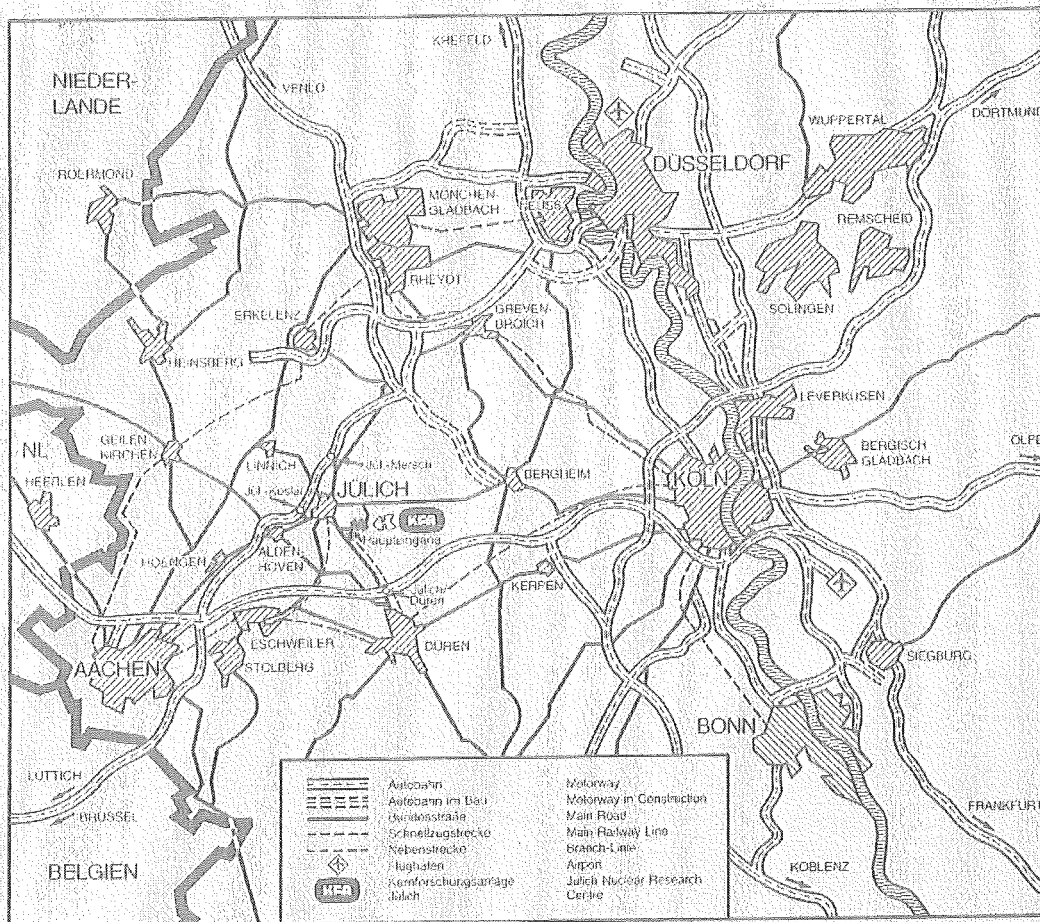
KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

Programmgruppe Technik und Gesellschaft

**Untersuchungen von möglichen
Internationalen Sicherungsmaßnahmen für die
Uran-Anreicherungsanlage Gronau (UAG)**

von
W.D. Lauppe, B. Richter und G. Stein

Jül-Spez-331
September 1985
ISSN 0343-7639



Als Manuskript gedruckt

Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 331
 Programmgruppe Technik und Gesellschaft Jül-Spez-331

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH
 Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)
 Telefon: 02461/610 · Telex: 833556-0 kf d

**Untersuchungen von möglichen
Internationalen Sicherungsmaßnahmen für die
Uran-Anreicherungsanlage Gronau (UAG)**

von

W.D. Lauppe, B. Richter und G. Stein

Die Untersuchungen wurden im Auftrag des
Bundesministeriums für Forschung und Technologie
durchgeführt.

UNTERSUCHUNGEN VON
MÖGLICHEN INTERNATIONALEN SICHERUNGSMASSNAHMEN
FÜR DIE
URAN-ANREICHERUNGSANLAGE GRONAU (UAG)

von
W.D. Lauppe, B. Richter und G. Stein

Die Untersuchungen wurden im Auftrag des
Bundesministeriums für Forschung und Technologie
durchgeführt.

INHALT

Vorwort

Einleitung

Teil I : NDA-Messungen

Teil II: Versiegelungsmaßnahmen

Zusammenfassung

Vorwort

Im Hinblick auf die absehbare Inbetriebnahme der im Bau befindlichen deutschen Gasultrazentrifugen-Anreicherungsanlage (GUZ-Anlage) in Gronau, zu der sich die Bundesrepublik Deutschland im trilateralen Vertrag von Almelo im Jahre 1970 verpflichtete, steht der künftige Betreiber vor der Notwendigkeit, sich rechtzeitig auf die Aushandlung der Besonderen Vereinbarungen im Rahmen der Anlagenspezifischen Anhänge vorzubereiten. Grundlage ist hierfür das Ergebnis des 1983 abgeschlossenen internationalen Hexapartite Safeguards Projektes (H.S.P.), welches im Rahmen eines "Limited Frequency Unannounced Access (LFUA)" der IAEA-Inspektoren zu den Trennhallen den Einsatz von zerstörungsfreien Meßtechniken und Versiegelungsmethoden bestimmter Anlagenkomponenten nicht ausschließt. Es wird davon ausgegangen, daß die IAEA von dieser Möglichkeit Gebrauch machen wird.

Ausgehend von Paragraph 4(b), INFCIRC/153, wonach die IAEA-Überwachung den Betrieb von kerntechnischen Anlagen nicht ungebührlich beeinträchtigen soll, war beabsichtigt, gezielt die Anlagentauglichkeit von zwei im Rahmen der IAEA-Kontrollmaßnahmen einsetzbaren spezifischen Safeguardssystemen experimentell zu untersuchen. Die Arbeiten sollten somit die Basis für die Entscheidung des Betreibers bilden, ob IAEA-Maßnahmen akzeptiert werden können, die eine zerstörungsfreie Messung oder Versiegelung in der Kaskadenhalle oder in anderen Bereichen der Anlage beinhalten.

Für die NDA-Bestimmung der Anreicherung von gasförmigem UF_6 kommt unseres Erachtens ausschließlich hochauflösende γ -Spektrometrie in Frage. Die prinzipielle Einsatzfähigkeit dieser Methode erschien zwar sehr aussichtsreich, jedoch waren die Erfahrungen in bezug auf GUZ-Anlagen noch zu lückenhaft, um daraus konkrete Angaben über die Meßgenauigkeit - insbesondere unter Berücksichtigung der störenden Einflüsse der Untergrundstrahlung und der Uran-Wandablagerungen - ableiten zu können. Es erschien daher sinnvoll, mit einem entsprechenden Meßsystem in der GUZ-Anlage in Almelo (Niederlande) Untersuchungen an verschiedenen, für Safeguardsbelange relevanten Meßpunkten durchzuführen mit dem Ziel, eine Beurteilung der Meßgenauigkeit bei unter-

schiedlichen Meßbedingungen zu ermöglichen, wobei der Einfluß systematischer Fehlermöglichkeiten quantitativ erfaßt werden sollte. Auf der Basis dieser Ergebnisse wäre eine optimale Meßprozedur bei einer Auswahl geeigneter Meßpunkte zu erarbeiten gewesen.

Art und Umfang der Versiegelungsmaßnahmen in GUZ-Anlagen sind z.Zt. noch nicht festgelegt. Als Siegeltypen, welche unseres Erachtens ein größeres Anwendungspotential haben könnten, deren Einsatz im Anlagenbetrieb jedoch noch nicht getestet wurde, kommen das elektronische VACOSS-Siegel sowie ein modernes Klebesiegel (improved adhesive surface seal) in Betracht. Während der erstgenannte Typ vorwiegend für UF_6 -Behälter bzw. andere UF_6 enthaltende Komponenten wie beispielsweise Chemiefallen zur Diskussion steht, wäre die Anwendung eines Klebesiegels für kurzzeitige Versiegelungen, beispielsweise von Räumen und Schränken, ins Auge zu fassen. Neben der prinzipiellen Eignung der Siegeltypen war auch der Einfluß entsprechender Versiegelungsmaßnahmen auf den Anlagenbetrieb zu untersuchen.

Mit Zustimmung, Unterstützung und in Absprache mit dem Anlagenbetreiber in Almelo einerseits und Gestellung von γ -spektroskopischen Meßsystemen durch die IAEO andererseits konnte das Vorhaben durchgeführt werden.

Die Untersuchungen über zerstörungsfreie Messungen an Rohrleitungen im Kaskadenbereich waren in das Unterstützungsprogramm der Bundesregierung für die IAEO eingeordnet. Die Ergebnisse wurden daher intensiv von der IAEO und den ehemaligen H.S.P.-Partnern verfolgt und diskutiert. Im Hinblick auf das Ergebnis unserer Messungen läßt sich bereits festhalten, daß Nachfolgeuntersuchungen einer wesentlich erweiterten NDA-Methode notwendig geworden sind, da sich die von uns untersuchte Methode der γ -Spektrometrie von Strahlung, die das vorhandene Kernmaterial naturgemäß emittiert, nicht für den Safeguardseinsatz eignet. Die IAEO geht daher heute davon aus, daß zusätzliche Röntgenfluoreszenzanregung des gasförmigen UF_6 in der Rohrleitung in Verbindung mit hochauflösender γ -Spektrometrie auch für die Gronau-Anlage möglich und notwendig sein wird, um eine schnelle Entdeckung einer mißbräuchlichen Hochanreicherung im Rahmen des LFUA-Safeguardsansatzes zu gewährleisten.

Im Vergleich zu den NDA-Untersuchungen wurden die Versiegelungsmöglichkeiten ausschließlich mit dem Anlagenbetreiber untersucht und diskutiert.

Im ersten Teil des Berichtes werden die NDA-Untersuchungen und im zweiten Teil die Versiegelungsmöglichkeiten behandelt. Die Ergebnisse der Arbeiten sind in einer abschließenden Zusammenfassung kurz beschrieben.

Einleitung

Internationale Safeguards-Diskussionen der letzten Jahre waren geprägt durch die Suche nach effektiven und kostengünstigen Safeguards-Konzepten für die verschiedenen Anlagen des nuklearen Brennstoffkreislaufes. Viele dieser Überlegungen führten zu Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die mittlerweile soweit zu einem erfolgreichen Abschluß gebracht werden konnten, daß die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) ihre Kontrollaufgaben in ausreichender Weise durchführen kann. Schwieriger gestaltete sich die Situation für große Anlagen der Anreicherung und der Wiederaufarbeitung, wie sie für die nähere Zukunft in der Bundesrepublik Deutschland und in anderen Ländern geplant oder bereits in Betrieb sind. Im Rahmen der International Nuclear Fuel Cycle Evaluation (INFCE), bei der der Non-Proliferationsgedanke und internationale Safeguards eine wesentliche Rolle spielten, konzentrierte man sich zunächst auf die Problematik der Entwicklung von Safeguards-Verfahren und -Konzepten für Wiederaufarbeitungsanlagen. Diese vorläufigen INFCE-Ergebnisse wurden bei den Arbeiten der International Working Group on Reprocessing Plant Safeguards (1979 - 1980) als INFCE-Folgeaktivität weiter vertieft. Eine wichtige Schlußfolgerung dieser internationalen Expertengruppe war die Feststellung, daß auch große Anlagen zur Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente effektiv durch internationale Safeguards überwacht werden können.

Zur Lösung des weiteren anstehenden Problems der Entwicklung geeigneter Safeguards-Verfahren für Zentrifugenanlagen wurde Ende 1980 das sogenannte Hexapartite Safeguards-Projekt gegründet. Dieses Projekt, welches die Technologiehalter für Zentrifugenanlagen aus der Bundesrepublik Deutschland, Großbritannien, den Niederlanden (der Troika), Japan, Australien, den USA sowie die Inspektorate der IAEO und der Kommission der Europäischen Gemeinschaften um einen Tisch vereinigte, hatte sich zur Aufgabe gemacht, ein effektives und praktikables Safeguards-System sowohl für bestehende als auch für in Bau bzw. in fortgeschrittener Planung befindliche kommerzielle Zentrifugenanlagen zu erarbeiten.

Diese Aufgabenstellung konnte insoweit zufriedenstellend gelöst werden, als ein Safeguards-Modell gefunden wurde, das zwar auf einem spezifizierten Zugang zum Kaskadenbereich beruht, jedoch die Möglichkeit eines unerwünschten Technologietransfers zu minimieren versucht und auf umfangreichen apparativen Aufwand verzichtet (Limited Frequency Unannounced Access Model - LFUA). Für die Troika gelten in diesem Zusammenhang besondere Geheimhaltungsvereinbarungen. Eine wesentliche Randbedingung für die Akzeptanz dieses Zugangsmodells war die Tatsache, daß es in gleicher Weise von allen Beteiligten, d.h. sowohl von den am Projekt beteiligten Kernwaffenstaaten als auch den Nichtkernwaffenstaaten angewendet werden muß.

Die Art und Weise wie hier auf internationaler Ebene im Konsens ein sehr schwieriges, komplexes Problem gelöst werden konnte, kann dem Hexapartite Safeguards-Projekt einen gewissen Modellcharakter für ähnliche zukünftige Fragestellungen geben. Insbesondere hat der Verlauf des Projektes gezeigt, daß pragmatische Ansätze, bei denen von vornherein alle betroffenen Staaten und Kontrollorganisationen zusammenarbeiten, zu erfolgversprechenderen Lösungen führen und generell theoretischen Ansätzen, die nicht die Praxis des Anlagenbetriebes berücksichtigen, vorzuziehen sind.

Alle Elemente des LFUA-Modells beruhen auf internationalen Safeguards nach INFCIRC/153. Die Aufgabenstellung für die Überwachungsbehörden nach Art. 28, INFCIRC/153 besteht auch bei Zentrifugenanlagen darin, die Abzweigung einer signifikanten Menge an Uran rechtzeitig entdecken zu können, wobei hier als Sonderfall die Produktion einer signifikanten Menge von Uran mit einem Anreicherungsgrad, der höher ist als in der Anlagenbeschreibung festgelegt, zu berücksichtigen ist.

Bei einer Unterstellung dieser Annahme, daß es in Anlagen, die für eine Niedriganreicherung ausgelegt sind, im Prinzip zwar möglich ist, höher anzureichern, als es offiziell deklariert worden war, muß man allerdings davon ausgehen, daß dieses Vorhaben technisch nur mit erheblichem Aufwand durchzuführen ist. Die Möglichkeit zum undeklarierten Hochanreichern durch Modifizierung des Anlagenzyklus oder Rückzyklisierung würde sicherlich nicht

unentdeckt bleiben, da bei diesem Vorhaben eine Vielzahl von Anomalien entstehen, die sich leicht feststellen lassen. Dazu gehören z.B. :

- (a) erhebliche Änderungen im Fluß und/oder der Zusammensetzung von Uran-Hexafluorid;
- (b) Änderungen der verfahrenstechnischen Verschaltung und damit der Rohrleitungsführung;
- (c) zusätzliche Lager- oder Einspeisesysteme;
- (d) Änderungen der γ -Intensität des Uran-Hexafluorids.

Mögliche Inspektionsaktivitäten in der Kaskadenhalle, die diesen Aufgabenstellungen der Entdeckung einer Abzweigung von signifikanten Mengen von Uran oder einer möglichen Hochanreicherung genügen, lassen sich in visuelle Inspektionen und technische Maßnahmen einteilen.

Inspektionstätigkeiten außerhalb und innerhalb des Kaskadenbereiches für Anlagen mit bis zu 1000 t UTA pro Jahr

Inspektions- tätigkeiten	Inspek- tions- kategorie	Häufig- keit ¹	Dauer	mögliche Hilfsmittel
außerhalb der K.H. -Protokollprüfung -Auswertung der Betreibermeß- daten -Verifikation des Materialflusses -physische Inventar- verifikation	Routine	12 - 15 p.a.	3 Arbeits- tage bzw. 2 Wochen für eine Inven- tarauf- nahme	Isotopenstandards Eichzylinder γ -Spektroskopie (NDA) Probenanalytik (SAL)
innerhalb der K.H. -visuelle Beobach- tung -technische Maß- nahmen	Initial	1	nicht spezifi- ziert	Konzeptzeichnungen Fotos NDA je nach Bedarf
innerhalb der K.H. -visuelle Beobach- tung -technische Maß- nahmen	Routine	4 - 12 p.a.	1 - 2 Stunden, max. 8 Stunden, wenn Messun- gen er- forder- lich sind	Konzeptzeichnungen Fotos NDA je nach Bedarf Probenanalytik

¹ Die Inspektionen innerhalb und außerhalb des Kaskadenbereiches fallen in der Regel zusammen.

Visuelle Inspektionen

Bei der visuellen Beobachtung im Kaskadenbereich verifiziert der Inspektor durch Inaugenscheinnahme die Übereinstimmung von deklarierten und tatsächlich installierten safeguardsrelevanten Geräten, Prozeßkonfiguration und Anlagencharakteristika. Designbilder oder andere Aufzeichnungen helfen ihm, den deklarierten oder möglicherweise geänderten Zustand der Anlage zu erkennen. Darüber hinaus verifiziert der Inspektor, daß das gesamte kernmaterialführende Rohrleitungsnetz von der Kaskadenhalle durch die deklarierten Wanddurchbrüche führt und außerhalb des Kaskadenbereiches an seinen Endpunkten aufhört.

Technische Maßnahmen

Unter technischen Maßnahmen versteht man z.B. den Einsatz von stationären oder tragbaren Instrumenten im Kaskadenbereich zur Verifikation der deklarierten Anreicherung durch NDA-Messung (NDA = Non Destructive Assay) der Strahlungen des UF_6 im Prozeß. Der Inspektorzutritt bei stationärer Instrumentierung bezieht sich auf die Wartung und die Eichung der Apparaturen, die Auslesung von Meßdaten sowie die Überprüfung im Hinblick auf Manipulationsversuche. Tragbare Meßgeräte könnten z.B. an UF_6 -Sammelleitungen in den Kaskadenhallen sowie für Eichmessungen einschließlich der Messung des Strahlungsuntergrundes eingesetzt werden. Falls anwendbar, kann der Inspektor aus einer Kaskade oder Gruppen von Kaskaden Proben nehmen lassen oder Ventile und Flansche versiegeln. Diese Anwendungen und Verifikationen innerhalb des Kaskadenbereiches sollen nach Praktikabilitäts Gesichtspunkten entschieden werden. Entsprechend soll eine Versiegelung von permanent installierten Safeguards-Geräten ebenfalls nach der Praktikabilität und Anwendbarkeit beurteilt werden.

Die detaillierten Inspektionsaktivitäten innerhalb der Kaskadenhalle auf der Basis dieser Kategorisierung sind unterschiedlich für die einzelnen Anlagen. Für Troika-Anlagen sind unter anderem folgende Elemente charakteristisch und safeguardsrelevant:

- alle Zentrifugen sind im Verband angeordnet und arbeiten im Verband;
- defekte Maschinen bleiben im Kaskadenverband;
- in der Kaskadenhalle befinden sich keine Ein- und Ausspeisesysteme.

Es erwies sich als sinnvoll, zwischen einer ersten Inspektion (initial), bei der der Inspektor Anlagencharakteristiken und -designs im einzelnen kennenlernen soll, und den nachfolgenden Routineinspektionen zu unterscheiden. Die Tabelle gibt einen Überblick über die Inspektionsaktivitäten, wie sie für Gronau bzw. die entsprechende Anlage in Almelo festgelegt worden sind. Die Inspektionsfrequenzen außerhalb und innerhalb des Kaskadenbereiches wurden ebenfalls festgelegt. Für Anlagen bis zu etwa 1000 t Uran-Trennarbeit pro Jahr wurde eine mittlere Frequenz für Routineinspektionen außerhalb der Kaskadenhalle von 12-mal pro Jahr angesetzt.

Für die Aufnahme des physischen Inventars wurde eine Inspektionsdauer von zwei Wochen als ausreichend angesehen. Für die anderen Inspektionen sollten drei Tage genügen.

Die notwendige LFUA-Inspektionsfrequenz innerhalb der Kaskadenhalle ist anlagenspezifisch und liegt im Bereich von 4- bis 12-mal pro Jahr für Kapazitäten bis etwa 1000 t Uran-Trennarbeit pro Jahr. Die Dauer dieser LFUA-Besuche innerhalb des Kaskadenbereiches liegt bei einer bis acht Stunden, je nachdem ob der Inspektor sich auf visuelle Inspektion beschränkt oder auch Instrumente zur Messung des UF_6 benutzt. Die LFUA-Besuche können auch in Verbindung mit Routineinspektionen durchgeführt werden.

Die Festlegung der Gleichbehandlung der am Hexapartite Safeguards-Projekt beteiligten Technologiehalter wurde in Form eines offiziellen Notenaustausches auf Regierungsebene vereinbart. Die Verhandlungen zu den einzelnen anlagenspezifischen Anhängen finden mittlerweile zwischen den beteiligten

Staaten und Organisationen für die Anlagen in Almelo, Capenhurst und Portsmouth statt.

TEIL I

Gamma-Spektrometrie im Kaskadenbereich einer GUZ-Anreicherungsanlage

INHALT

1. Einleitung.....	I-1
2. Physikalische Probleme.....	I-3
3. Meßprinzip.....	I-5
4. Messungen.....	I-8
5. Ergebnisse.....	I-10
6. Konklusionen.....	I-14
Verzeichnis der Zitate.....	I-16
Verzeichnis der Abbildungen.....	I-17

1. Einleitung

Im Ergebnis des H.S.P. wurden zwei Forderungen erhoben:

1. Der Safeguardsinspektor sollte das Recht zu einem in der Häufigkeit eingeschränkten, unangemeldeten Zutritt zum Kaskadenbereich erhalten, und
2. er sollte das Recht auf den Gebrauch je nach Bedarf von zerstörungsfreien Meßmethoden im Kaskadenbereich haben.

Task C.14.7, "Field Testing of NDA-Equipment", im Unterstützungsprogramm der Bundesrepublik Deutschland für die IAEA war der Rahmen für Untersuchungen in der GUZ-Anreicherungsanlage in Almelo, Niederlande, nachdem die IAEA davon überzeugt war, daß sich mit gängiger γ -Spektrometrie unter Verwendung von in Safeguards eingesetztem Gerät die erforderlichen Safeguardsinformationen im Kaskadenbereich erzielen ließen. Das Ziel bestand darin, zu einer Konklusion zu kommen, ob eine γ -spektroskopische Meßmethode im Kaskadenbereich dazu führen würde,

1. die laufende und vorgelaufene Uran-Anreicherung in einer in Betrieb befindlichen Anlage zu bestimmen, und
2. ob diese zu einer Routinemaßnahme für Safeguards gemacht werden könnte, die unter H.S.P.-Bedingungen, d.h. mit eingeschränkter Zutrittsdauer des Inspektors, angewendet werden kann.

Darüberhinaus mußte berücksichtigt werden, daß der Gasdruck des UF_6 ein geschützter Parameter ist, der bis jetzt der IAEA nicht zur Verfügung gestellt wurde. Im Laufe der aus H.S.P. resultierenden Diskussionen wurde deutlich, daß die IAEA eine Routine-NDA-Methode suchte, welche eine "go/no go" Feststellung in bezug auf eine gegebenenfalls laufende und vorgelaufene HEU-Produktion ermöglicht. Daher zielte die Arbeit darauf ab, die Anwendbarkeit bekannter γ -spektroskopischer Meßverfahren unter Einsatz auf dem Markt verfügbarer Geräte unter den oben genannten Randbedingungen zu prüfen und die Anforderungen an eine solche γ -Meßmethode zu spezifizieren.

Im vorliegenden Bericht ist die Problematik der Messungen identifiziert und das Meßprinzip, der experimentelle Aufbau sowie die Durchführung der Messungen beschrieben. Die Ergebnisse werden diskutiert und Konklusionen gezogen.

2. Physikalische Probleme

Ein physikalisches Problem γ -spektroskopischer Messungen an UF_6 -Leitungen besteht darin, daß die beobachtete γ -Strahlung von drei Strahlungsquellen emittiert wird:

1. UF_6 -Gas, welches von den Trennkaskaden zu den Sammelleitungen strömt,
2. Ablagerungen in der Rohrleitung und
3. Strahlungsuntergrund.

Im Hinblick auf eine einwandfreie Meßmethode ergeben sich daraus zwei Hauptprobleme, nämlich die Anforderung,

1. die Untergrund- γ -Strahlung auf einen vernachlässigbaren Wert zu senken, da sich herausstellte, daß zuverlässige Untergrundmessungen sich sehr schwierig gestalteten. Die Reduktion des Strahlungsuntergrundes ist ein Abschirmungsproblem.
2. Die Ermöglichung der Unterscheidung zwischen γ -Strahlung, die aus dem Gas einerseits und den Ablagerungen andererseits resultiert.

Für die Messungen eignen sich 4 γ -Übergänge im Energiebereich 60 - 190 keV, während ein fünfter γ -Übergang von 1001 keV aus Abschirmungsgründen ausgeschlossen wird /I-1/. Die niederenergetische γ -Strahlung erfordert einen geeigneten Detektor.

Drittens ist die beobachtbare Kernmaterialmenge vergleichsweise klein mit einer daraus resultierenden niedrigen Zählrate. Aus diesem Grunde muß der γ -Detektor möglichst nahe an die Rohrleitung herangebracht werden. Unter diesen Umständen stellt sich das Problem endlicher Öffnungswinkel wegen der endlichen räumlichen Ausdehnungen sowohl der Strahlungsquelle als auch des Detektors. Darüberhinaus machen die endliche Dicke und die spezifische γ -Absorption der Rohrleitung γ -Intensitätsmessungen im erwähnten Energiebe-

reich sehr schwierig. Daher wurde entschieden, geeichte Strahlungsquellen als Bezugsgrößen mit bekannter Anreicherung zu verwenden, wobei die Materialdichte und -geometrie bekannt sowie die Geometrie des benötigten separaten Rohrleitungsstückes identisch mit der beobachteten Rohrleitung in der Anlage war. Nur so können komplizierte Korrekturen vermieden und zuverlässige Meßergebnisse erzielt werden.

Die γ -Strahlung resultiert von instabilen Nukliden. Um eine einwandfreie Bestimmung der Anreicherung zu ermöglichen, sollten die Referenzquellen im radioaktiven Gleichgewicht vorliegen. Für eine laufende Anlage kann diese Bedingung jedoch nicht angenommen werden, da sowohl Änderungen in der Anreicherung als auch im UF_6 -Gasdruck auftreten können. Auch mit diesem Problem muß die Meßmethode fertigwerden.

3. Meßprinzip

Das Safeguardsproblem besteht in der Verifizierung der deklarierten Anreicherung. Die Anreicherung kann bestimmt werden durch Messungen der γ -Strahlung, welche von Uran und seinen Zerfallsprodukten emittiert wird (siehe Tabelle I-1).

TABELLE I-1: Relevante γ -Übergänge für die Bestimmung der Anreicherung von U-235

γ -Übergang (keV)	Zerfall	Bestimmung des Isotopenanteils von
185,7	U-235 \rightarrow Th-231	U-235
84,2	Th-231 \rightarrow Pa-231	U-235
92,6	Th-234 \rightarrow Pa-234m	U-238
63,3	Th-234 \rightarrow Pa-234m	U-238

Das Prinzip besteht in der Bestimmung von γ -Intensitätsverhältnissen zweier γ -Übergänge, die von U-235 und U-238 bzw. deren Zerfallsprodukten herrühren. Diese Prozedur muß erfolgen für Messungen, die sowohl an UF₆-Leitungen als auch an den Referenzquellen für die Eichung der Anreicherung durchgeführt wurden. Aus Tabelle I-1 ist ersichtlich, daß verschiedene Kombinationen von γ -Übergangspaaren in Betracht kommen. In der vorliegenden Untersuchung wurden die Verhältnisse der Übergänge 185,7 keV und 63,3 keV sowie 84,2 keV und 63,3 keV für die Bestimmung der U-235 Anreicherung benutzt (siehe 5. Kapitel). Im Hinblick auf eine einwandfreie Eichung ist es erforderlich, daß sich die Referenzquellen im radioaktiven Gleichgewicht befinden, welches abhängig ist von der jeweiligen Halbwertszeit des Isotops (siehe Tabelle I-2).

TABELLE I-2: Halbwerts- und Gleichgewichtszeiten der relevanten Nuklide

Nuklid	Halbwertszeit	Gleichgewichtszeit (Tage)
U-235	7×10^8 years	0
Th-231	25,6 Std.	5
Th-234	24,1 days	120

Die Gleichgewichtszeit wird willkürlich auf 5 Halbwertszeiten festgesetzt. Sie spielt eine wesentliche Rolle bei der Anreicherungsmessung von abgelagertem Kernmaterial auf der inneren Oberfläche der Kaskadenproduktleitungen. Diese Ablagerungen tragen wahrscheinlich in erster Linie zu der beobachteten γ -Strahlung bei /I-2/.

Die Ablagerungen haben folgende Ursachen /I-2/:

1. UF_6 reagiert mit dem Rohrmaterial, sobald die Kaskade erstmals in Betrieb geht,
2. UF_6 reagiert mit Wasserdampf und anderen Aerosolen,
3. direkte Ablagerung von Thorium aufgrund des α -Zerfalls von Uran-Nukliden beim Durchgang des UF_6 in den Leitungen. Thorium bildet nichtflüchtiges Fluorid.

Obwohl die Ursprünge der Ablagerung bekannt sind, ist es unmöglich, die Ablagerungsrate vorherzusagen. Die Ablagerungsrate von Uran ist nicht konstant und hängt von den Betriebsbedingungen ab. Eine mittlere Ablagerungsrate kann gemessen werden; jedoch können Kaskaden mit ähnlichen Betriebsdauern und -geschichten durchaus signifikante Unterschiede in den gemessenen Dicken ihrer Uran-Ablagerungen aufweisen. Schließlich ist bekannt, daß die Ablagerungen stabil in bezug auf atomare Austauschreaktionen sind /I-2/.

Aus Tabelle I-2 ist ersichtlich, daß eine Kaskade, die unter konstanten Bedingungen für mindestens 120 Tage betrieben wurde, d.h. bei gleichbleibender Anreicherung, Gasdruck und Ablagerungen, geringere Probleme bei der Auswertung aufwerfen würde als eine Kaskade mit variierenden Betriebsparametern. Dennoch muß auch ein solch "einfacher" Fall auf die Bestimmung sowohl der Anreicherung des Gases als auch der der Ablagerungen hin genau untersucht werden.

In Tabelle I-3 sind die γ -Übergänge und ihre zugehörigen Quellen zusammengestellt. Es ist offensichtlich, daß der 185,7 keV γ -Übergang die einzige Informationsquelle in bezug auf die Anreicherung von U-235 im UF_6 -Gas darstellt.

TABELLE I-3: Anteile im γ -Spektrum

Strahlungsquelle	γ -Übergänge (keV)
UF_6 -Gas	185,7
U-Ablagerungen	185,7
	63,3, 84,2, 92,6
Th-Ablagerungen	63,3, 84,2, 92,6
Untergrund	Compton*

* Die Photolinien der oben genannten Übergänge sind abgeschirmt und erscheinen nicht im Spektrum.

4. Messungen

Die Messungen wurden in Halle 2 der SP4-GUZ-Anreicherungsanlage in Almelo durchgeführt. Eine Meßposition an der Verbindungsleitung von der Kaskade zur Sammelleitung für Produkt, 13 cm oberhalb des ersten Ventiles, wurde für alle gemessenen Kaskaden ausgewählt (siehe Position 4 in Abb. I-1). Position 3 wurde ausgeschlossen, da sie größere Abschirmungsprobleme aufwarf, und die Positionen 1 und 2 waren nicht safeguardsrelevant. Die Rohrleitungen hatten einen Innendurchmesser von 36 mm und eine Wandstärke von 3 mm. Es wurde angenommen, daß Material und Geometrie aller gemessenen Rohrleitungen identisch waren. Eine reproduzierbare Detektorposition wurde durch eine halbkreisförmige Aussparung in der Grundplatte von Detektor und Kollimator erreicht, wobei zwischen Detektorkollimator und UF_6 -Leitung ein direkter (elektrisch entkoppelter) Kontakt bestand. Der Meßaufbau umfaßte einen High-Purity Planar-Germanium-Detektor mit einer wirksamen Fläche von 1900 mm² und einer Dicke von 16 mm. Der Kryostat war mit einem dünnen Beryllium-Fenster an der Vorderseite ausgestattet (für die hier beschriebene Anwendung nicht notwendig). Die vom Hersteller angegebene Energieauflösung betrug $\Delta E = 670$ eV bei 122 keV. Das Dewar-Gefäß hielt die Füllung Flüssigstickstoff mindestens 4 Tage.

Abbildung I-2 zeigt den schematischen Aufbau der elektronischen Meßanordnung. Im Gegensatz zu vorhergehenden Meßkampagnen wurden an IAEO-eigenem Gerät nur der Vielkanalanalysator mit Hochspannungsversorgungsteil, Hauptverstärker und Kassettenrecorder verwendet, während der Detektor, die Abschirmungen, der Datendrucker und die mechanischen Hilfsmittel entweder Eigentum der KFA oder des ECN/Petten waren /I-3/.

Abbildung I-3 zeigt den experimentellen Aufbau für die γ -spektroskopischen Messungen an UF_6 -Leitungen zwischen Kaskaden und Sammelleitungen. Die wichtigen Merkmale des Aufbaus sind die verschiedenen Komponenten sowohl der Blei- als auch der Eisenabschirmung /I-4/. Damit soll sichergestellt werden, daß nur solche γ -Strahlung beobachtet wird, die aus dem ausgewählten Rohrabschnitt resultiert. Die Bleiabschirmung besteht aus zwei Teilen, dem Kollimator für den Detektor und dem zylindrischen Teil, der die UF_6 -Leitung

umgibt. Die Dicke des Bleis beträgt 5 mm. Zur Unterdrückung von Pb-Röntgenfluoreszenz ist das Blei auf der Innenseite mit einer 3 mm dicken Schicht aus Cadmium belegt. Abbildung I-4 zeigt den Querschnitt von Detektor und Abschirmung in bezug auf ihre Position zur UF_6 -Leitung. Da die beobachtete Produktleitung in einem Rohrverband verläuft, ist es notwendig, alle möglichen Quellen von Untergrundstrahlung zu identifizieren. Aus Abbildung I-5 ist ersichtlich, daß sowohl die Sammelleitungen über dem Gang als auch das nächstgelegene Ventil in der Feedleitung störende Untergrundstrahlung produzieren. Die Eisenabschirmung (siehe Abbildung I-3) ist nötig, um die von den Sammelleitungen herrührende Strahlung zu unterdrücken. In Ermangelung eines anderen Materials wurde 20 mm dickes Eisen verwendet.

γ -Spektren im Energiebereich 15 - 250 keV wurden mit 1024 Kanälen aufgenommen bei Meßzeiten von normalerweise 3000 s.

An 11 Kaskaden wurden Messungen durchgeführt sowie an drei Eichpräparaten (siehe unten). Die Meßkampagne dauerte 4 Tage. Davon wurden drei Tage benötigt, um alle elektrischen und Abschirmungsprobleme zu identifizieren und zu beseitigen.

Die Eichquellen hatten Anreicherungen von 0,7101(7) %, 1,50(2) %, und 3,03(1) % U-235. Die chemische Zusammensetzung war Uranylfluorid, welches homogen auf Filterpapier verteilt war. Die Flächendichte der Uranverbindung betrug 2 mg/cm². Die Eichquellen befanden sich im radioaktiven Gleichgewicht. Die Größe der Eichquellen war so konzipiert, daß in einem separaten Rohrleitungsstück die tatsächliche Geometrie der Produktmessung an der Kaskade reproduziert wurde.

5. Ergebnisse

Abbildung I-6 zeigt ein typisches γ -Spektrum von einer Kaskadenproduktleitung. Die Meßdauer betrug 39.960 s, da dieses Spektrum übernacht aufgenommen wurde. Die relevanten γ -Übergänge sind die Photolinien bei 63,29 keV, 84,2 keV, 92,38 + 92,8 keV, und 185,7 keV. Andere Photolinien wurden bei der Auswertung nicht in Betracht gezogen. Hinsichtlich des 92,38 + 92,8 keV Doubletts sollte festgestellt werden, daß es zusätzlich eine Störung durch den 93,35 keV Th (K_{α_1})-Übergang gibt. Die Intensität dieses Übergangs ist direkt proportional der U-235 Anreicherung, da ein möglicher Beitrag von U-238 drei Größenordnungen schwächer und ein Beitrag vom Zerfall des U-234 vernachlässigbar ist /I-5/. Zum Vergleich zeigt Abbildung I-7 das γ -Spektrum der U_{nat} -Eichquelle. Es ist offensichtlich, daß hier der U-235 Beitrag (185,7 keV γ) viel kleiner ist als im Produktspektrum (Abbildung I-6).

In Abbildung I-8 sind die γ -Intensitätsverhältnisse für verschiedene Kombinationen von γ -Übergängen als Funktion der Kaskadennummer (linke Seite) und als Funktion der U-235 Anreicherung (rechte Seite) dargestellt. Bei den Eichmessungen wurde das 92,38 + 92,8 keV γ -Doublett auf die 93,35 keV Th (K_{α_1})-Strahlung korrigiert. Während die beiden oberen Intensitätsverhältnisse die Anreicherung ergeben, zeigt das 185,7 keV/84,2 keV Intensitätsverhältnis der Produktmessung verglichen mit den Eichquellen ein radioaktives Gleichgewicht in allen beobachteten Kaskaden an. Daraus ist zu entnehmen, daß innerhalb der letzten 5 Tage vor den Messungen weder die Anreicherung noch der Gasdruck geändert worden waren. Damit hatten sich auch die U- und Th-Ablagerungen nicht geändert, weil innerhalb der Fehlergrenzen die 185,7 keV/84,2 keV Intensitätsverhältnisse für Produkt- und Eichmessungen identisch sind. Schließlich zeigt das 93 keV/63 keV Intensitätsverhältnis, daß die Messungen unter stabilen Betriebsbedingungen des Meßsystems durchgeführt worden waren. Darüberhinaus bestätigt dieses Ergebnis eine konstante Wandstärke aller Rohrleitungen. Die Ergebnisse aus Abbildung I-8 sind in Tabelle I-4 zusammengefaßt.

TABELLE I-4: U-235 Anreicherungen der Produktmessungen

U-235 Anreicherung %	γ -Intensitäts- verhältnis	Ursprung
2,1 - 3,8 2,90 \pm 0,04*	185,7/63,3 keV	Gas + Ablagerungen
1,9 - 5,0 3,0 \pm 0,1*	84,2/63,3 keV	Ablagerungen

* Gewichtetes Mittel

Der Anlagenbetreiber gab im Vergleich dazu eine Anreicherung im Bereich von 2,8 - 3,2 % U-235 für die gesamte Betriebszeit der Halle 2 an.

Aus Tabelle I-4 ist ersichtlich, daß beide γ -Intensitätsverhältnisse im Ergebnis konsistent sind. Die Tatsache daß das 84 keV/63 keV Intensitätsverhältnis die Anreicherungsbestimmung für die Ablagerungen in den Rohrleitungen gestattet, beinhaltet nicht die Möglichkeit der Anreicherungsbestimmung für das UF_6 -Gas, indem man das 185,7 keV/63 keV Intensitätsverhältnis benutzt, welches die Anreicherung der Kombination von Gas und Ablagerungen ergibt.

Eine derartige Diskriminierung würde die Kenntnis des UF_6 -Gasdrucks oder die Möglichkeit der Produktmessung an einer evakuierten Leitung erfordern.

Um eine Aussage über die Ablagerungsrate in den Produktleitungen machen zu können, sind die absoluten γ -Intensitäten als Funktion der Kaskadennummer in Abbildung I-9 dargestellt. Die Konklusion ist, daß entgegen den Erwartungen einer Akkumulation der Ablagerungen Kaskade Nr. 1 einen kleineren Betrag von abgelagertem Material aufweist als Kaskade Nr. 14. Kaskade Nr. 1 war etwa 2 1/2 Jahre vor Kaskade Nr. 14 als erste in Betrieb genommen worden. Kaskade Nr. 11 hatte die höchsten absoluten Zählraten. Daraus läßt sich schließen,

daß diese entweder von einer höheren U-Ablagerung oder einem höheren Gasdruck mit daraus resultierender größeren Th-Ablagerung verursacht sein können. Zum Zeitpunkt der Messungen war Kaskade Nr. 11 etwa 10 Monate in Betrieb gewesen.

An Kaskade Nr. 12 wurde ein γ -Spektrum aus 8 cm Entfernung von einem Ventil in der Feedleitung gemessen. Es wurde ein typisches Spektrum von Natur-Uran erwartet. Die Messung ergab das in Abbildung I-10 gezeigte Spektrum. Der Vergleich mit dem Spektrum in Abbildung I-7 führt zu den folgenden Schlußfolgerungen :

Die γ -Intensität der 185,7 keV Photolinie ist im Vergleich zu den 63, 84 und 93 keV Photolinien sehr klein. Dies deutet auf eine um Größenordnungen erhöhte Th-Ablagerung an Ventilen hin, als vom Gasdruck an dieser Stelle her erwartet wurde, während Uran im Gas weiter transportiert wird.

Zusammenfassend läßt sich also sagen, daß eine Bestimmung der Anreicherung nur für die Kombination Gas + Ablagerungen möglich ist, wenn die beschriebene γ -spektroskopische Methode an laufenden Kaskaden angewendet wird.

Im 2. Kapitel dieses Berichtes war herausgestellt worden, daß in einer laufenden Anreicherungsanlage UF_6 -Gasdruck und U-235 Anreicherung variieren können. Folglich befänden sich UF_6 - Gas und Ablagerungen nicht im radioaktiven Gleichgewicht. Es stellt sich die Frage, ob die Meßmethode eine Hochanreicherung entdecken könnte (d.h. ≥ 20 %), falls der UF_6 -Gasdruck um einen geeigneten Betrag reduziert würde. Um darüber eine Aussage machen zu können, wurden Rechnungen durchgeführt, wobei angenommen wurde, daß bei Inbetriebnahme einer Kaskade keine Ablagerungen vorhanden waren. Weiterhin wurde angenommen, daß sich ausschließlich Th-Ablagerungen aufbauen würden. Die Kaskade wurde 200 Tage lang mit einer Anreicherung von 3 % betrieben, bevor sie auf 20 % Anreicherung umgestellt wurde. Gleichzeitig mit der Erhöhung der Anreicherung wurde der UF_6 -Gasdruck um $20/3 \approx 7$ reduziert. Hinsichtlich des 185,7 keV/84 keV Intensitätsverhältnisses ergäbe sich keine Änderung. Die Intensität des Verhältnisses 185,7 keV/63 keV würde allmählich zunehmen und einen deutlich höheren Wert innerhalb von 200 Tagen erreichen. Innerhalb von 20 Tagen nach der Umstellung der Anreicherung würde das 185,7 keV/63 keV

Intensitätsverhältnis sich nur wenig ändern. Dies trifft auch für das 84 keV/63 keV Intensitätsverhältnis zu.

In einer zweiten Rechnung wurde angenommen, daß der UF_6 -Gasdruck nicht um den Faktor 7 sondern um den Faktor 2 reduziert wurde bei Änderung der Anreicherung von 3 % auf 20 %. In diesem Fall zeigt das 185,7 keV/84 keV Intensitätsverhältnis eine unmittelbare Erhöhung um den Faktor 3,5, welche leicht nachweisbar ist. Die anderen beiden betrachteten γ -Intensitätsverhältnisse zeigen dasselbe Verhalten. In Abbildung I-11 sind die entsprechenden γ -Intensitätsverhältnisse als Funktion der Zeit dargestellt.

Folglich läßt sich feststellen, daß es eine Möglichkeit der Entdeckung einer Erhöhung der Anreicherung von 3 % auf 20 % geben könnte, falls nicht der UF_6 -Gasdruck um denselben Faktor reduziert wird. Reale Anlagenbedingungen, wie z.B. die tatsächlichen Ablagerungen relevanten Materials in den Rohrleitungen, sind in den Rechnungen nicht berücksichtigt.

6. Konklusionen

Mit der beschriebenen γ -Spektrometrie kann die U-235 Anreicherung von UF_6 Gas + Ablagerungen in Produktleitungen bestimmt werden, falls der Gasdruck konstant ist und die relevanten Nuklide sich im radioaktiven Gleichgewicht befinden.

Dies mag jedoch für reale Anlagen nicht zutreffen, wenn normalerweise Änderungen der Betriebsparameter auftreten. Eine separate Bestimmung der Anreicherung des Gasanteiles ist nicht mit dieser Methode möglich ohne Kenntnis des UF_6 -Gasdrucks oder der Möglichkeit einer Messung an der evakuierten Produktleitung. Die Methode erfordert Eichquellen. Die Rohrgeometrie muß bekannt sein, ebenfalls die Spezifikation des Rohrmaterials. Abschirmungen müssen auf jedes Kaskadenkonzept abgestimmt sein. Beispielsweise sind in der SP4 GUZ-Anlage in Almelo 3 unterschiedliche Konzepte für den Meßaufbau (Abschirmungen, Detektoraufbau, Rohrgeometrie, Geometrie der Eichquellen) nötig.

Hinsichtlich der Einschätzung der erforderlichen Zutrittsdauer des Safeguardsinspektors zum Kaskadenbereich kann festgestellt werden, daß die Messungen mit 3000 s pro Kaskade durchgeführt wurden. Der Aufbau der Apparatur dauerte etwa 15 Minuten. Die Eichmessungen können im Prinzip außerhalb des Kaskadenbereiches durchgeführt werden. Folglich läßt sich für eine Kaskadenmessung etwa eine Stunde ansetzen. In Halle 2 befinden sich 14 Kaskaden; die Messungen würden etwa 14 Stunden beanspruchen. Falls es möglich ist, Maßnahmen der räumlichen Eingrenzung und Beobachtung an der Meßapparatur anzuwenden, könnte der Inspektor seinen Zutritt zur Kaskadenhalle auf die Dauer begrenzen, die nötig ist, um die Apparatur von einer Kaskade zur anderen zu bewegen. In diesem Fall würde der Inspektor etwa 3 1/2 Stunden in der Halle verbringen müssen, in der auch die beschriebenen Untersuchungen durchgeführt worden waren.

Zwei weitere Aspekte müssen jedoch noch erwähnt werden. Da der Inspektor Eichmessungen an Referenzpräparaten in Blindrohren durchführen muß, müssen die realen UF_6 -Leitungen in der Anlage bezüglich ihrer Geometrie und ihres

Materials verifiziert werden. Dies beinhaltet Messungen des Durchmessers, der Wandstärke und der Materialzusammensetzung. Der zweite Aspekt bezieht sich auf die Notwendigkeit eines engen Kontaktes zwischen Meßapparatur, Abschirmungen und Rohrleitungen. Beschädigungen der Trennkaskaden können nicht ausgeschlossen werden.

Falls es schließlich möglich ist, im realen Anlagenbetrieb den UF_6 -Gasdruck um denselben Betrag zu senken wie die Anreicherung erhöht wird, könnte eine HEU-Produktion ($\geq 20\%$) eine zeitlang verschleiert werden. Diese Möglichkeit ergäbe sich insbesondere bei Anlagen mit großen Ablagerungsraten.

Daher kann die beschriebene Meßmethode nicht für den Routineeinsatz als Safeguardsmaßnahme empfohlen werden.

Verzeichnis der Zitate

- /I-1/ W.D. Lauppe, B. Richter, G. Stein, NDA Measurements in the Cascade Area of a Gas Centrifuge Enrichment Plant, Proceedings: 6 th ESARDA Symposium, Venedig, 14.-18.Mai 1984, S. 387.

- /I-2/ T.W. Packer, R. Howsley, E.W. Lees, Measurement of the enrichment of uranium deposits in centrifuge plants, Harwell and Risley, June 1984.

- /I-3/ Wir danken der Gruppe von Herrn J. Harry, ECN/Petten, für die Möglichkeit der Benutzung ihres fahrbaren Plattformlifts.

- /I-4/ Wir danken dem Anlagenbetreiber für die Möglichkeit der Benutzung einer 20 mm dicken Eisenplatte und für alle sonstige Unterstützung.

- /I-5/ Annals of the ICRP, ICRP Publication 38, Volumes 11-13, 1983, Pergamon Press, Oxford-N.Y.-Frankfurt.

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. I-1 Schematische Ansicht der Verbindungsrohre zwischen Kaskade und Sammelleitung mit Andeutung der Meßpositionen
- Abb. I-2 Schematische Darstellung des elektronischen Meßaufbaus
- Abb. I-3 Experimenteller Aufbau für die Messung von γ -Spektren an UF_6 -Leitungen zwischen Kaskade und Sammelleitung
- Abb. I-4 Querschnittsansicht der Position von Detektor und Abschirmung in bezug auf die Produktleitung
- Abb. I-5 γ -Detektor-Positionen und Abschirmungen
- Abb. I-6 γ -Spektrum gemessen an einer Produktleitung
- Abb. I-7 γ -Spektrum gemessen an der U_{nat} -Eichquelle
- Abb. I-8 γ -Intensitätsverhältnisse für die Bestimmung der Anreicherungen
- Abb. I-9 Absolute γ -Intensitäten (Photolinien)
- Abb. I-10 γ -Spektrum gemessen an einem Ventil in einer Feedleitung
- Abb. I-11
(a, b, c) γ -Intensitätsverhältnisse als Funktion der Zeit

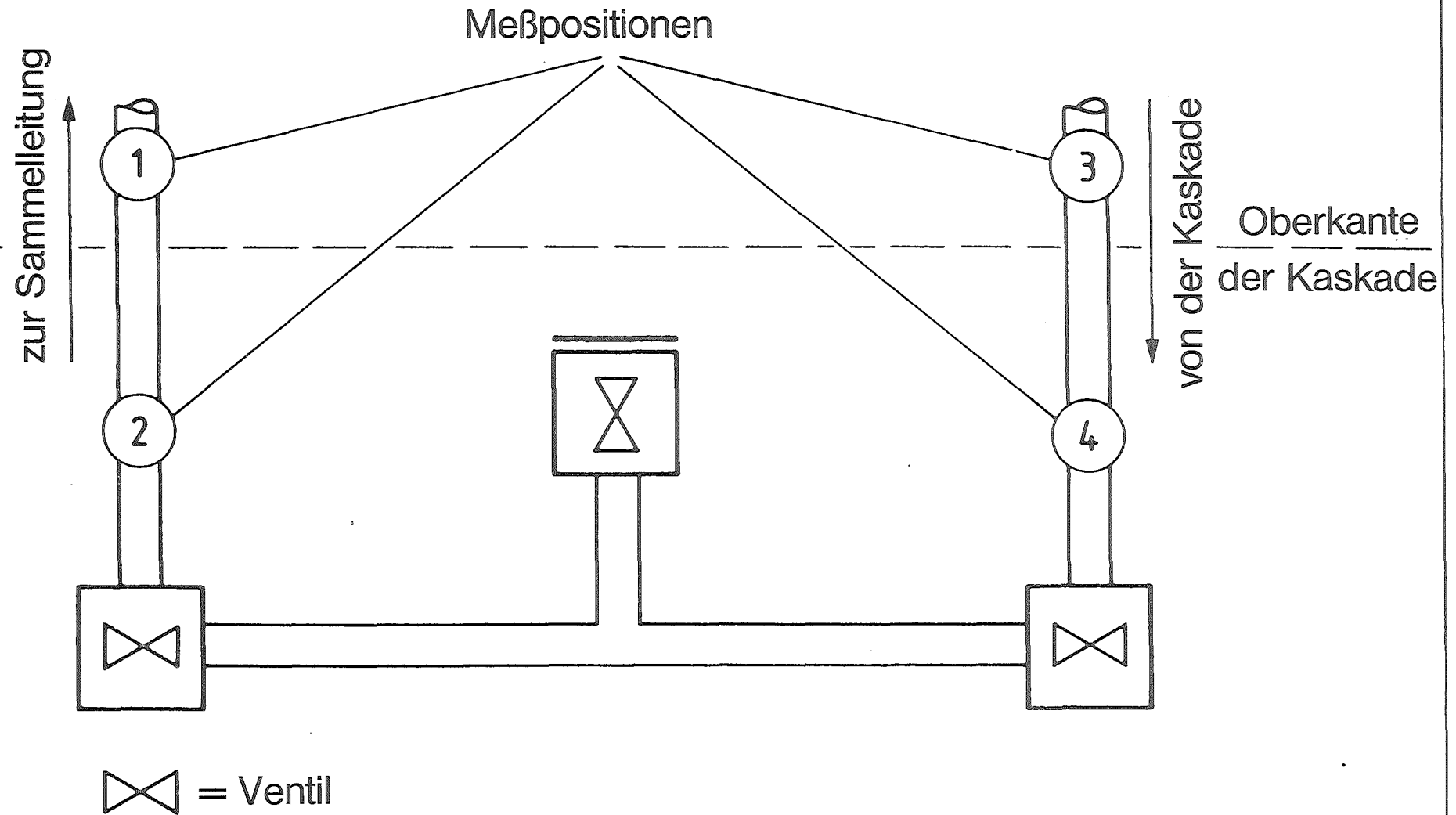


Abb. I-1: Schematischer Aufbau der Verbindungsleitungen zwischen Kaskade und Sammelleitung mit Meßpositionen

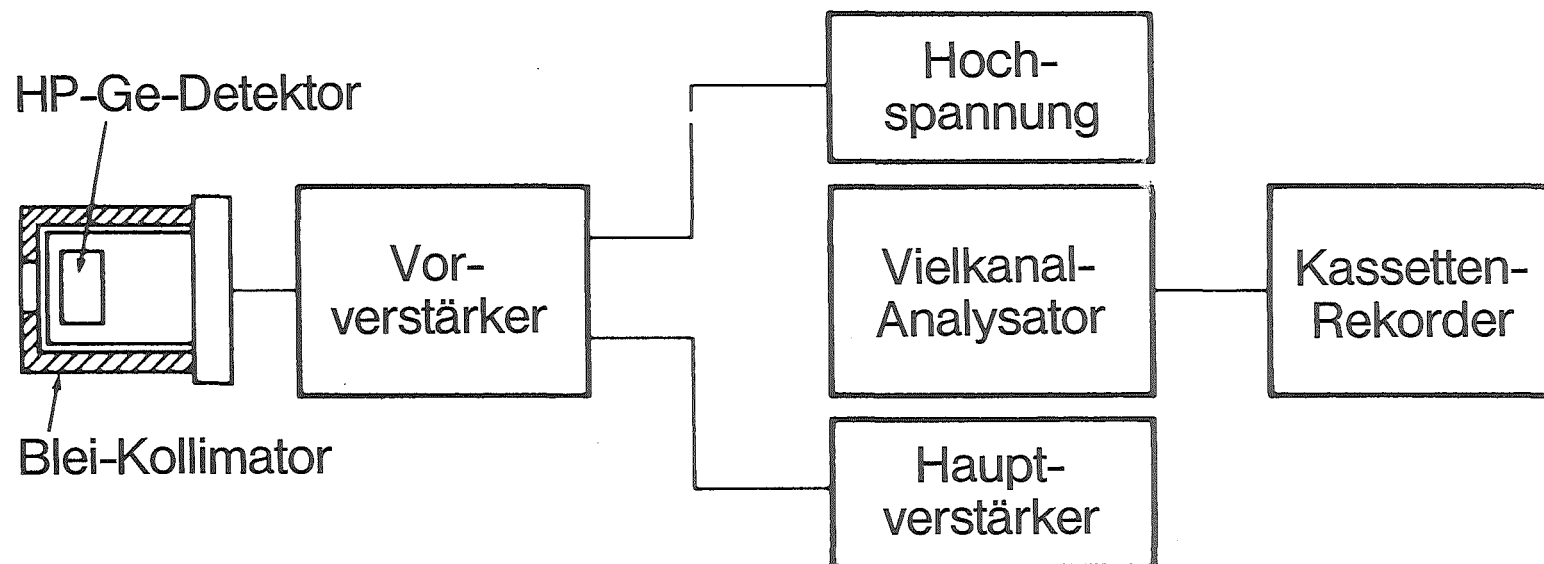


Abb. I-2: Blockschaltbild des elektronischen Aufbaus

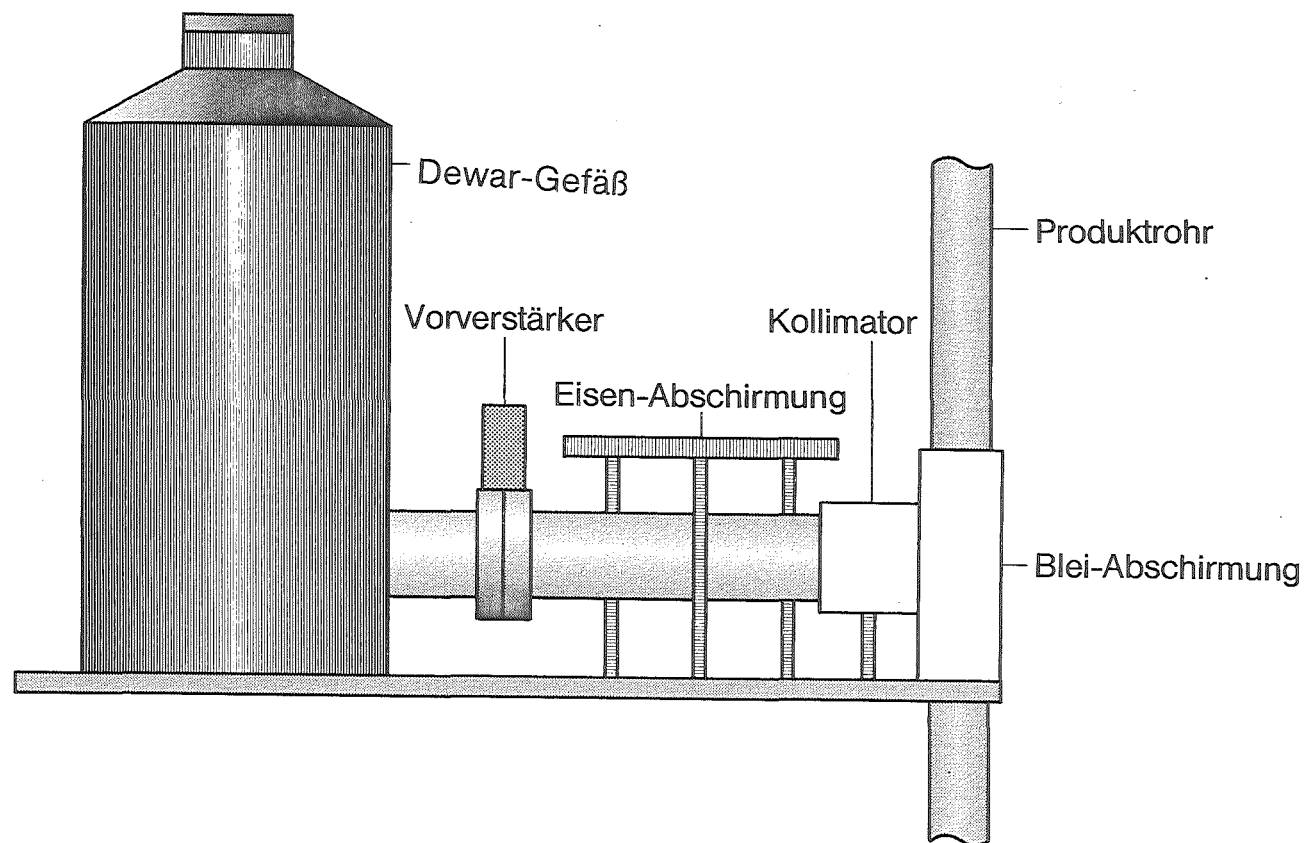


Abb. I-3: Experimenteller Aufbau für die Messung von γ -Spektren an UF_6 -Leitungen zwischen Kaskade und Sammelleitung

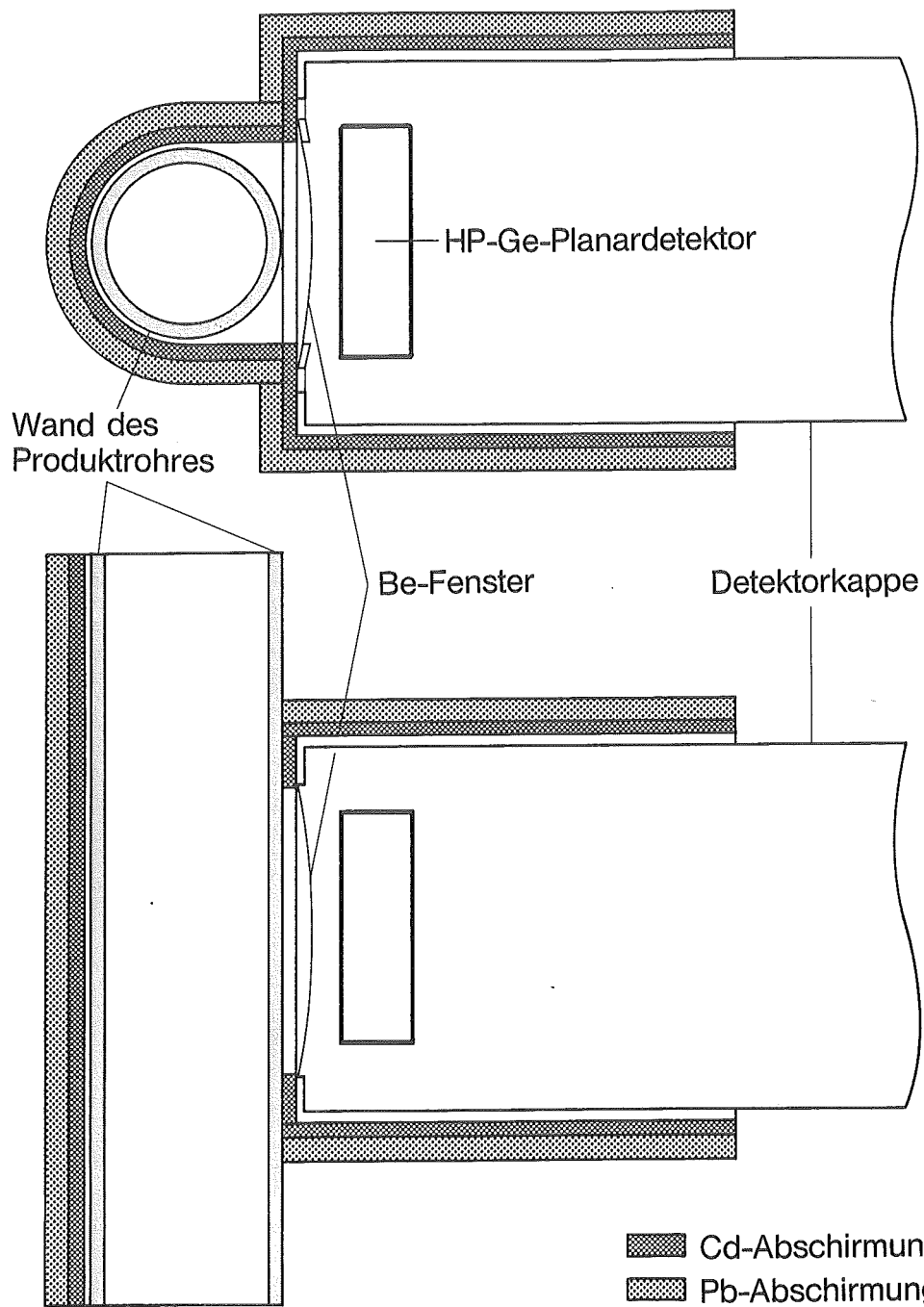


Abb. I-4: Querschnitt von Detektor und Abschirmung in bezug auf das Produktrohr

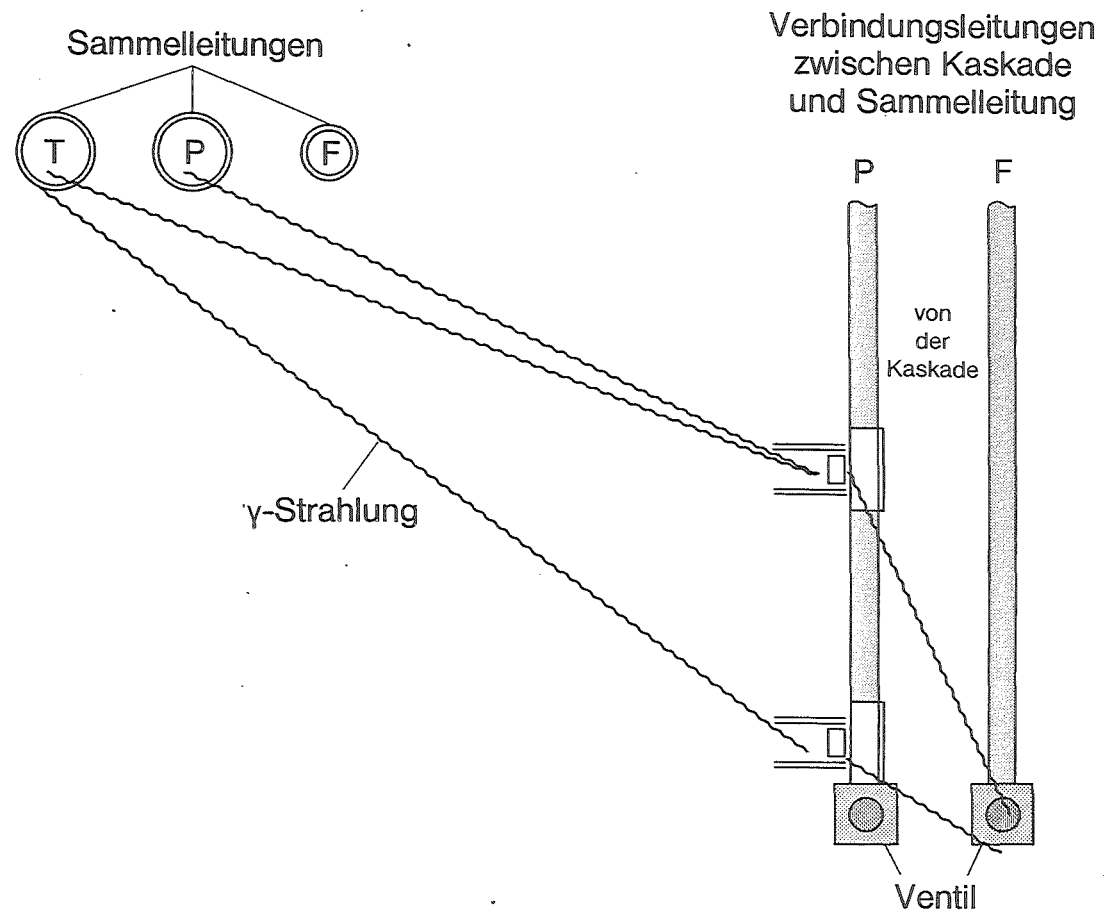


Abb. I-5: Positionen und Abschirmung des γ -Detektors

Zählrate
pro
39960 sec

Abb. I-6: γ -Spektrum, aufgenommen an der Produktleitung

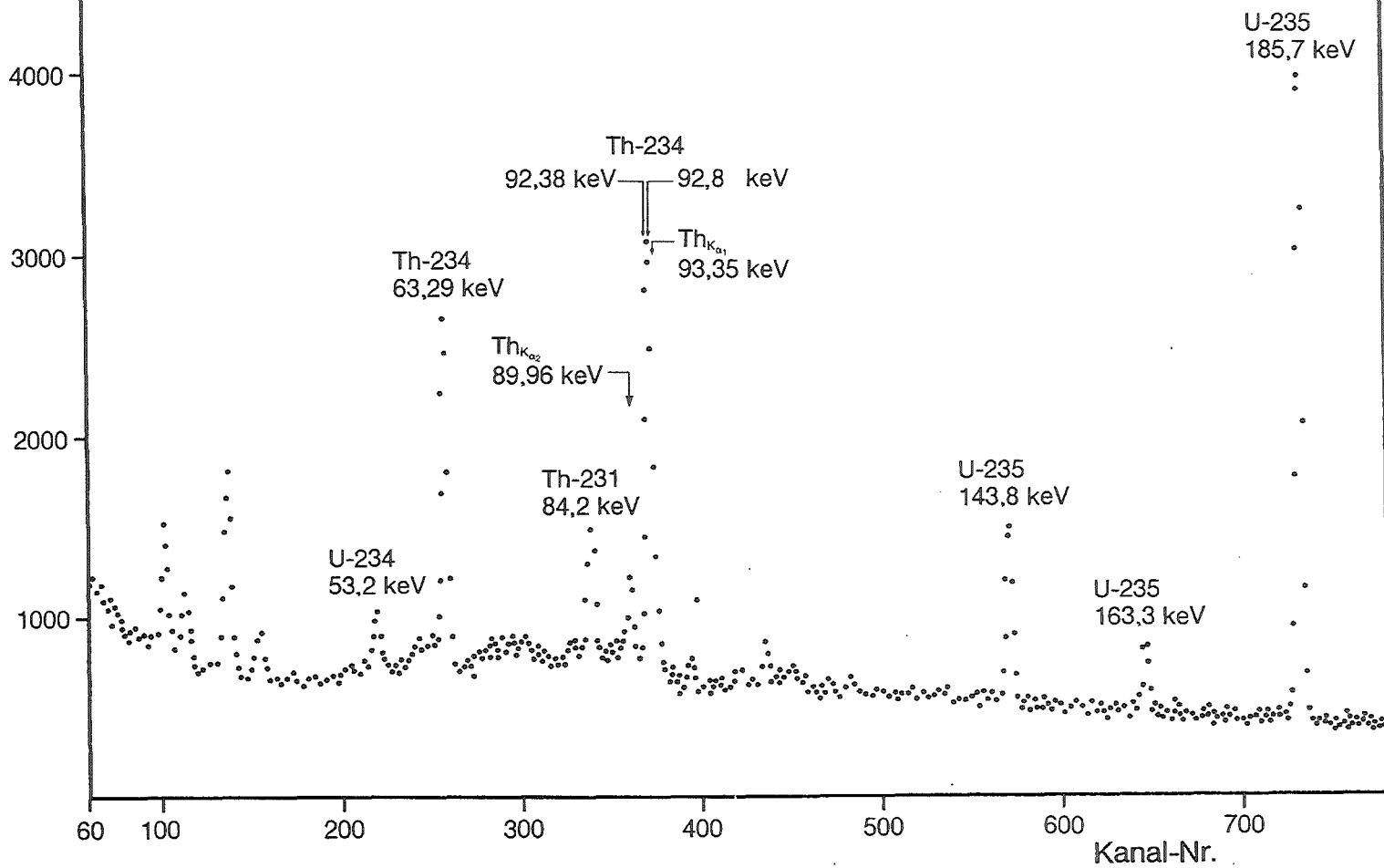
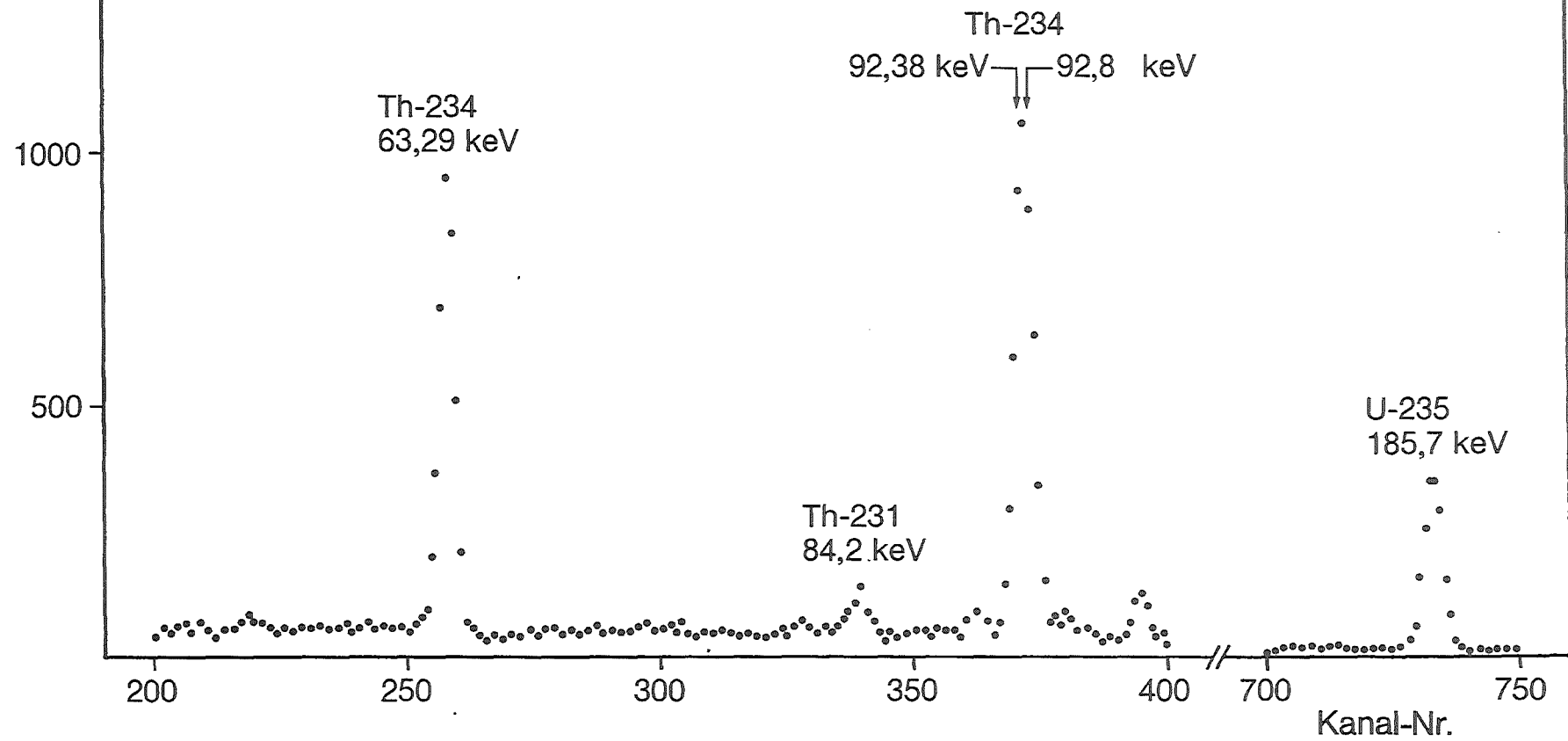


Abb. I-7: γ -Spektrum der U_{nat} -Eichquelle

Zählrate
pro
1200 sec

I-24



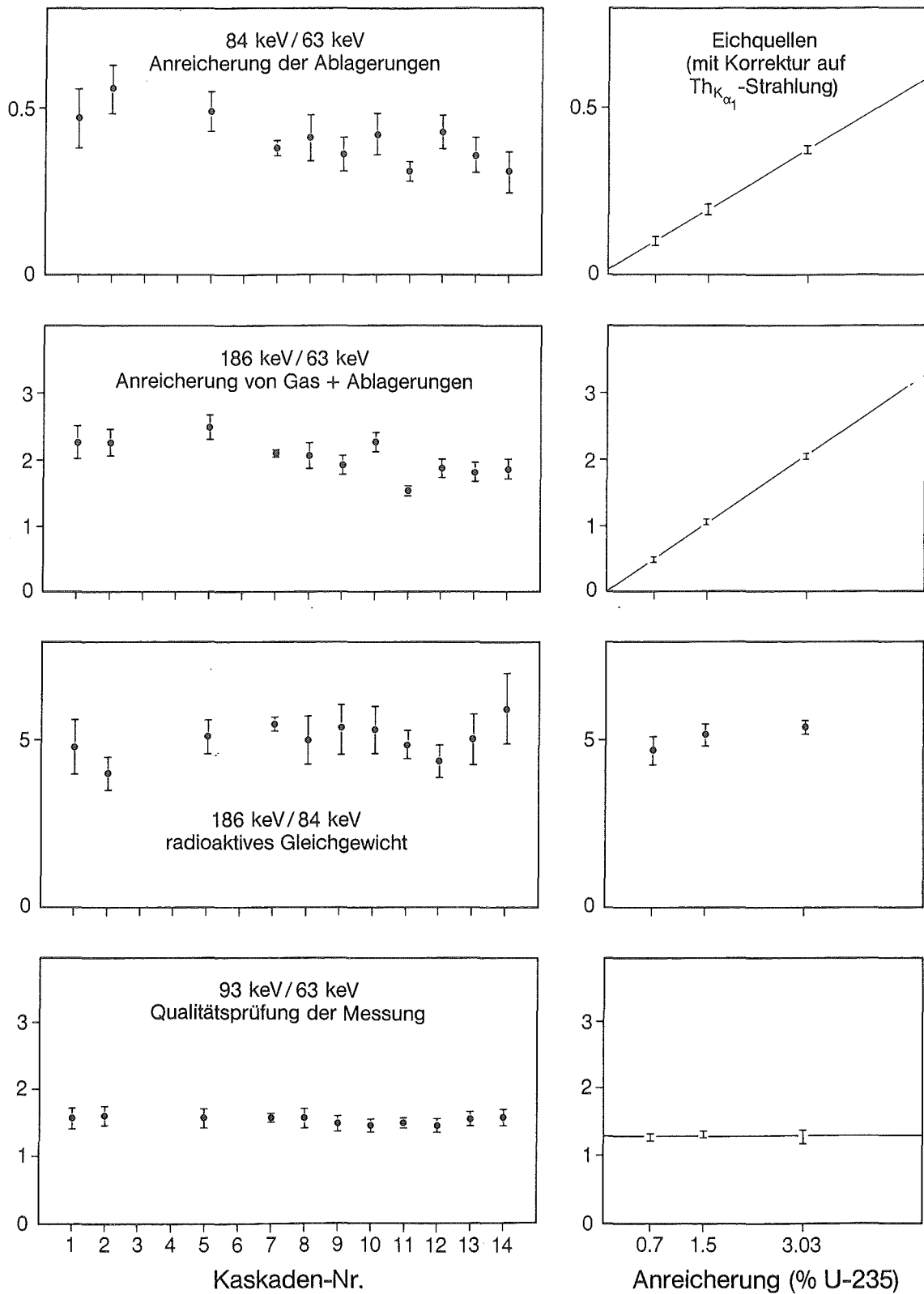


Abb. I-8: γ -Intensitätsverhältnisse

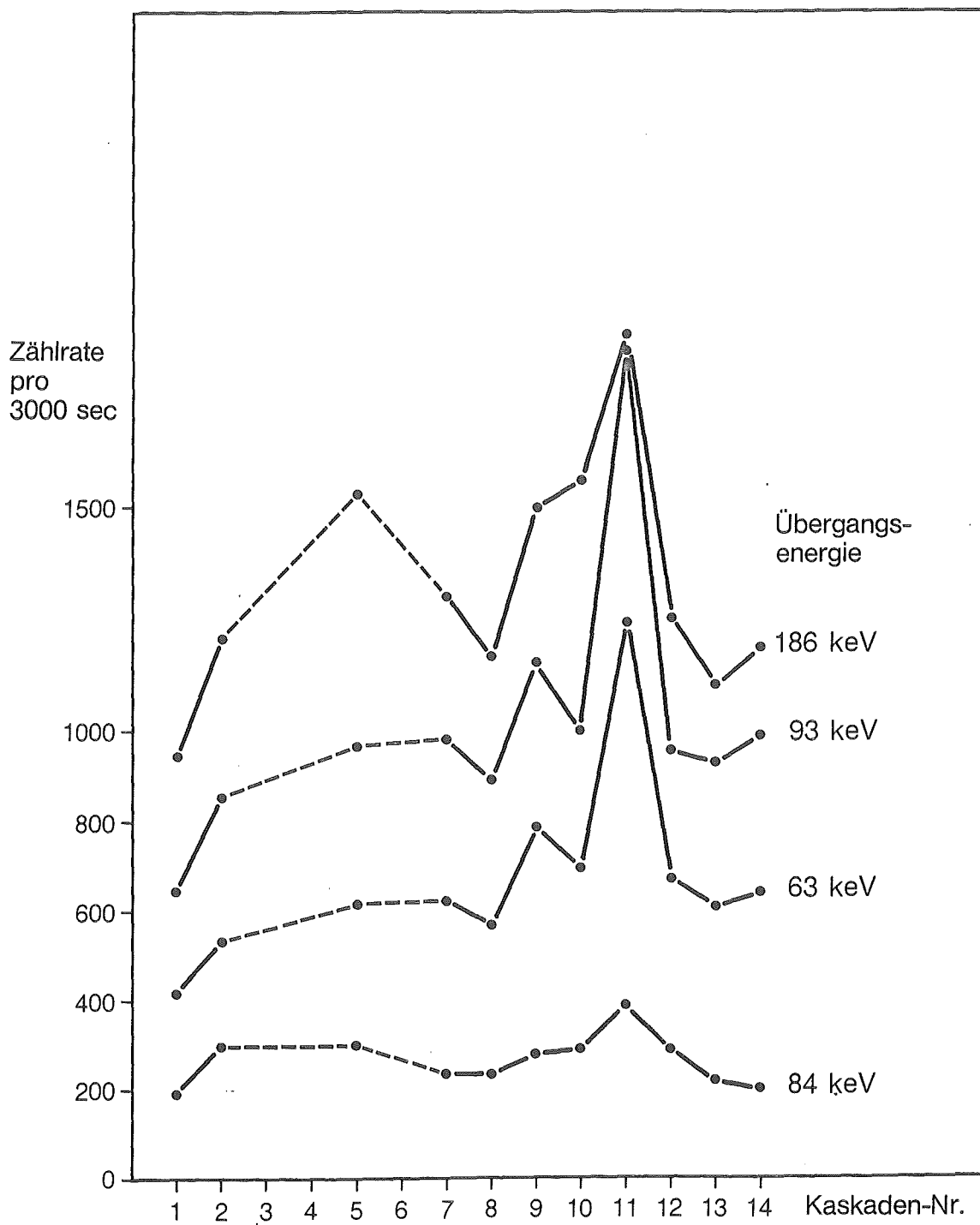
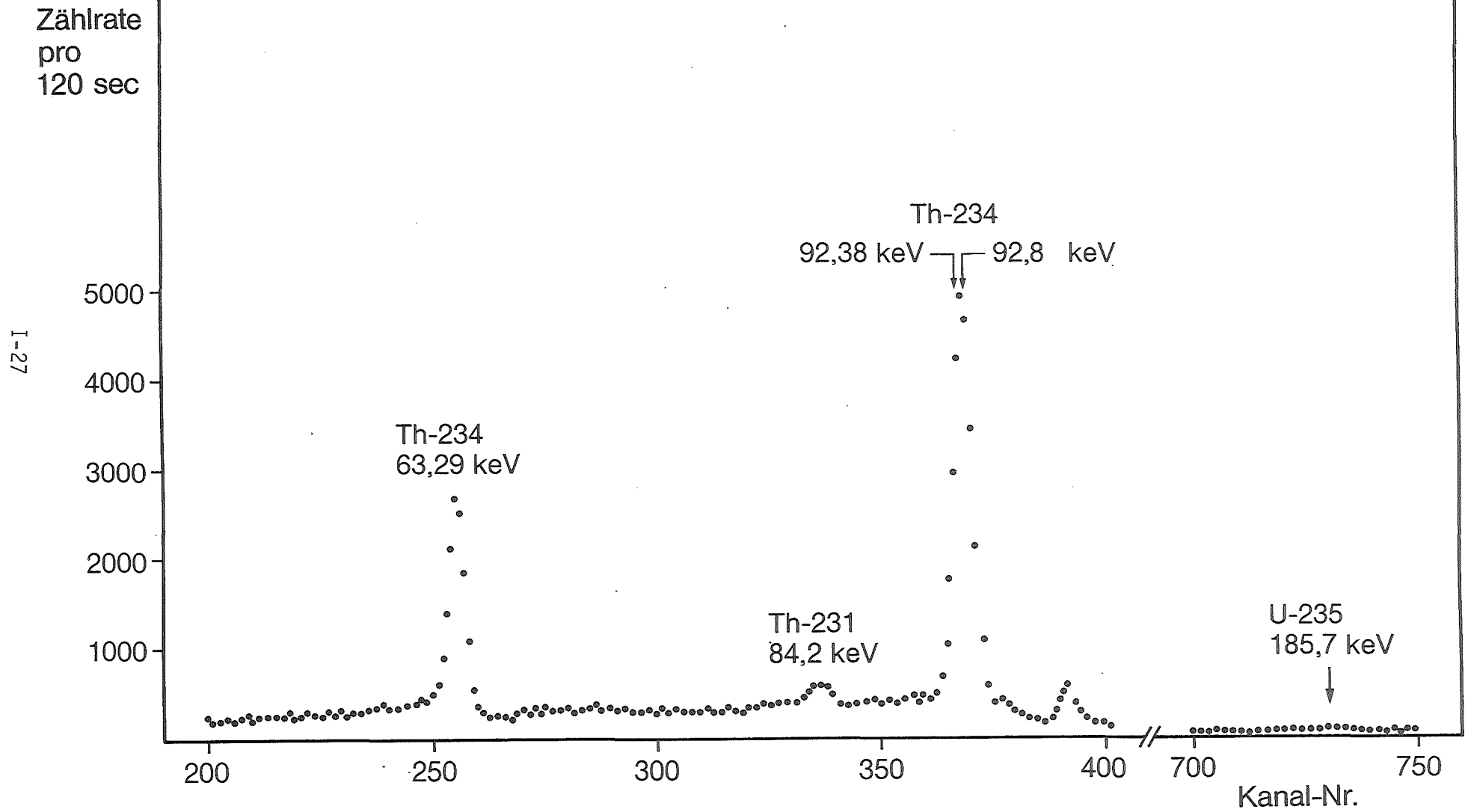


Abb. I-9: γ -Intensitäten (Photolinien)

Abb. I-10: γ -Spektrum, aufgenommen an einem Feedrohr



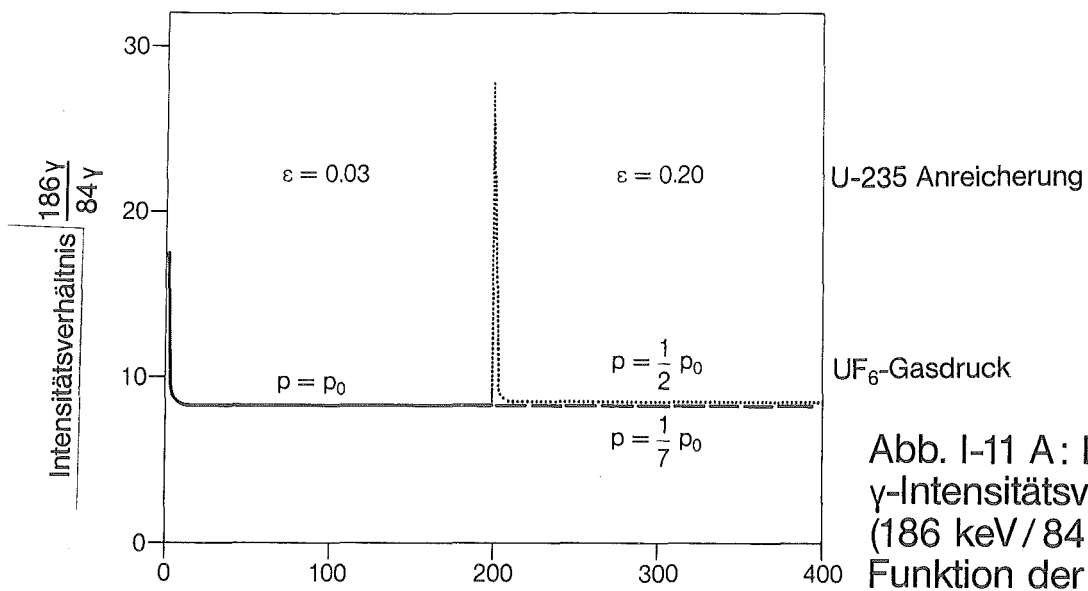


Abb. I-11 A: Berechnetes γ -Intensitätsverhältnis (186 keV / 84 keV) als Funktion der Zeit

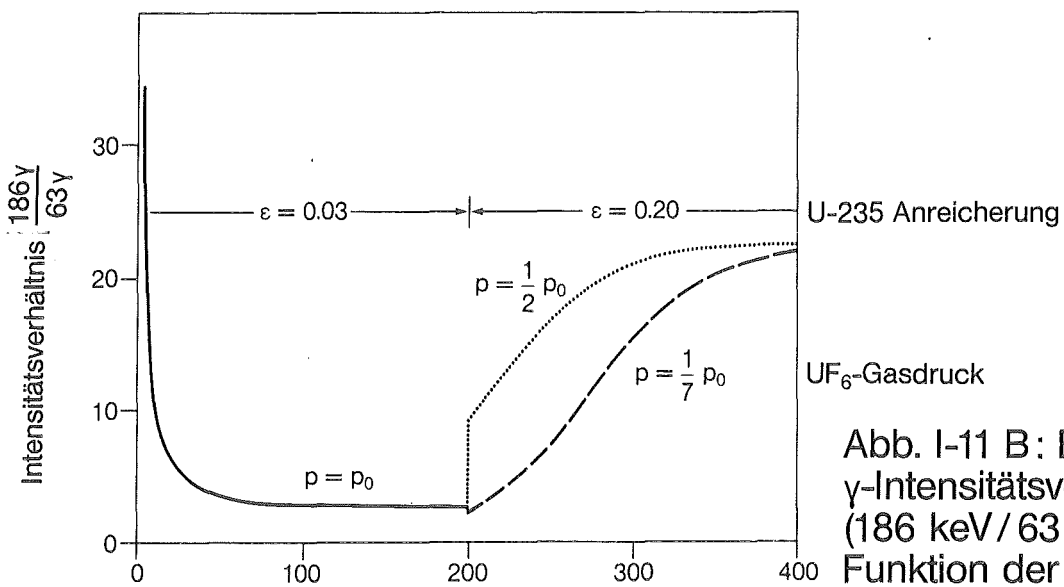


Abb. I-11 B: Berechnetes γ -Intensitätsverhältnis (186 keV / 63 keV) als Funktion der Zeit

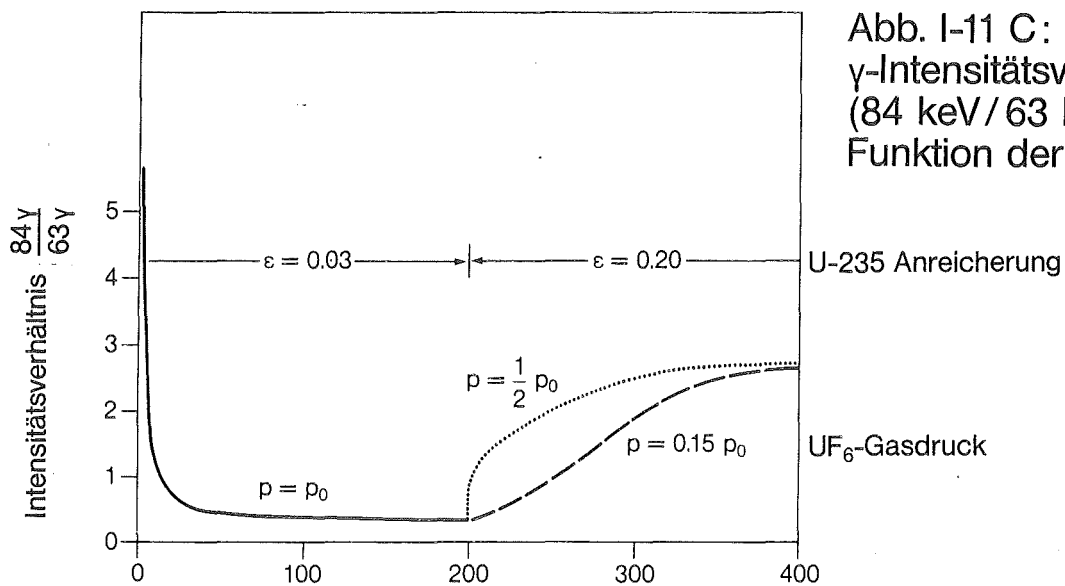


Abb. I-11 C: Berechnetes γ -Intensitätsverhältnis (84 keV / 63 keV) als Funktion der Zeit

TEIL II

Versiegelungsmaßnahmen

INHALT

1. Einleitung.....	II-1
2. Beschreibung der Siegel.....	II-3
2.1 Das VACOSS-Siegelsystem.....	II-3
2.2 Das Klebesiegel.....	II-4
2.3 Das Metal Cap Seal.....	II-5
3. Auswahl der zu untersuchenden Anlagenteile.....	II-6
3.1 Randbedingungen aus den Facility Attachments.....	II-6
3.2 Untersuchte Anlagenteile.....	II-8
4. Untersuchungen und Bewertung.....	II-9
4.1 Vorgehen.....	II-9
4.2 Bewertungskriterien.....	II-9
4.3 Ergebnisse.....	II-11
5. Konklusionen.....	II-23
Verzeichnis der Zitate.....	II-26
Verzeichnis der Abbildungen.....	II-27

1. Einleitung

Im Rahmen der internationalen Kernmaterialüberwachung durch die IAEA haben Maßnahmen der räumlichen Eingrenzung und Beobachtung (Containment and Surveillance) das Ziel, die rechtzeitige Entdeckung einer Abzweigung durch frühzeitige Entdeckung von Anomalien an der Containment-Integrität sowie die Kontinuität und Vollständigkeit der Kenntnis über Kernmaterialflüsse und -bestände sicherstellen zu helfen.

Die wesentlichen im IAEA-Einsatz befindlichen C & S-Geräte sind :

1. Filmkamera (Twin Minolta)
2. TV-Systeme
3. Cerenkov-Sichtgerät
4. Unterwasser-TV-Kamera
5. Unterwasser-Sichtgerät
6. Klebesiegel
7. Metallsiegel
8. Thermo-Lumineszenz-Dosimeter
9. Radio-Photo-Lumineszenz-Dosimeter

Der gegenwärtige Stand der C & S-Maßnahmen kann grob wie folgt umrissen werden:

Film- und TV-Überwachungssysteme, Cerenkov- und Unterwasser-Sichtgeräte, Unterwasser-TV-Kameras und Dosimeter werden in Leistungs- und Forschungsreaktoren eingesetzt. Klebesiegel und Metallsiegel sind im gesamten

Kernbrennstoffkreislauf verbreitet. Insbesondere in bulk handling facilities spielt das Safeguardssiegel die primäre Rolle. Das C & S-Gerät mit der häufigsten Anwendung ist das Metallsiegel, welches nur einmal verwendbar und nicht in situ verifizierbar ist. Jedes in einer kerntechnischen Anlage eingesetzte Metallsiegel muß in Wien verifiziert werden. Sowohl die Effektivität der Inspektionsabteilungen als auch die Rechtzeitigkeit einer Anomalieentdeckung könnten mit in situ verifizierbaren Siegeln wesentlich verbessert werden. Von deutscher Seite wurden daher das elektronische Siegelssystem VACOSS entwickelt und die Entwicklung einer verbesserten Version des Klebesiegels begonnen. Beide Safeguardssiegel würden das Kriterium der in situ Verifizierbarkeit erfüllen. Das VACOSS-Siegel ist darüber hinaus auch fernabfragbar.

Im Hinblick auf die Untersuchungen für die Gronau-Anlage wurden daher diese beiden Siegel ausgewählt. Der vorliegende Bericht beschreibt die beiden in situ verifizierbaren Siegel sowie hinsichtlich alternativer Versiegelungsmöglichkeiten das metal cap seal, die Randbedingungen einer möglichen Siegelanwendung in der GUZ-Anlage Gronau, die Auswahl von relevanten Anlagenteilen, die für eine Versiegelung in Betracht gezogen werden könnten, deren Versiegelbarkeit sowie Bewertung der Versiegelung unter Safeguardsaspekten. Es war in diesem Zusammenhang unbedingt notwendig, daß die Untersuchungen zur Versiegelung in der bereits in Betrieb befindlichen Almeloer SP4-Anlage mit dem Betreiber in enger Kooperation durchgeführt wurden. Abschließend werden Konklusionen gezogen.

2. Beschreibung der Siegel

2.1 Das Siegelsystem VACOSS 3 /II-1/

Das VACOSS-Siegelsystem (siehe Abbildung II-1) besteht aus dem elektronischen Siegel, einer Abfrageeinheit (Adapterbox I), die auch zur Siegelinitialisierung verwendet werden muß, und einer zweiten Art Abfrageeinheit (Adapterbox II), die für die Fernabfrage verschlüsselter Siegeldaten konzipiert ist. Das Siegel funktioniert wie ein Vorhängeschloß und registriert Öffnungen und Schließungen eines Lichtwellenleiters mit Datum und Uhrzeit, zählt derartige Ereignisse und übergibt bei Abfrage diese Daten einer Adapterbox zur Ausgabe auf einer Flüssigkristallanzeige. Das Siegel enthält einige Schutzfunktionen gegen nichtautorisierte Manipulationen, die ebenfalls registriert werden und abfragbar sind.

Das System soll den personellen Zutritt bzw. Zugriff zu einem geschützten Bereich zuverlässig registrieren. Es wurde für die Anwendung im Bereich der internationalen Kernmaterialüberwachung im Rahmen des deutschen Unterstützungsprogramms für die IAEA zur Serienreife entwickelt. Mögliche Anwendungen sind hier beispielsweise :

- Kurzzeitige Versiegelung von Kernmateriallagern während einer Überprüfung des physischen Inventars,
- Versiegelung des Reaktorkerns in einem Kernkraftwerk,
- Versiegelung von Lagerbereichen mit extrem geringer Zutrittshäufigkeit,
- Versiegelung von Transportbehältern für Kernmaterial,
- Versiegelung von Prozeßkomponenten in bulk handling facilities.

Die Vorteile des VACOSS-Siegelsystems liegen in den folgenden Merkmalen :

- Hohe Fälschungssicherheit gegen nichtautorisierten Eingriff,

- Verifizierbarkeit des Siegels am Einsatzort im angebrachten Zustand,
- Fernabfragemöglichkeit, ebenfalls im angebrachten Zustand,
- Netzunabhängigkeit durch Batteriebetrieb (ca. 1 Jahr),
- Schutz gegen Umgebungseinflüsse (z.B. Spritzwasser, Stoß),
- Wiederverwendbarkeit (z.B. durch Reinitialisierung nach Batteriewechsel),
- Möglichkeit des Party Line Betriebes mehrerer Siegel mit Abfrage von einer Stelle aus.

2.2 Das Klebesiegel

Das Klebesiegel, welches auf der Basis des seit langem im Einsatz befindlichen Safeguardssiegels für die IAEO weiterentwickelt wird, hat in erster Linie die Aufgabe der Kurzzeitanwendung, beispielsweise bei der Überprüfung des physischen Inventars in einer Anlage. Zur Versiegelung kommen glatte Flächen wie z.B. Türen, Schränke oder Rohrverbindungen infrage. Die Charakteristika des Klebesiegels bestehen vorwiegend in der Art des Klebers (Anforderung kurzer Aushärtungszeit), der Verletzlichkeit der Siegelfolie, der Identifizierbarkeit (Fälschungssicherheit), der Handhabbarkeit sowie der geringen Kosten. Das Konzept des Siegels besteht darin, ein Endlosträgerband mit individuellen Siegeln auf einer Spenderrolle bereitzuhalten. Das in der fortgeschrittenen Entwicklung befindliche Siegel kann auf glatten, fettfreien, trockenen, metallischen Flächen angebracht werden. Das Siegel kann nicht abgelöst und wiederaufgebracht werden, ohne daß dies im nachhinein erkennbar ist. Das Siegel ist durch ein Sicherheitsmerkmal (Logo) so geschützt, daß eine nichtautorisierte Nachfertigung mit großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. Das Siegelmateriale besteht aus einer Schicht kleinster Glaskugeln, in die dieses Sicherheitsmerkmal quasi als Wasserzeichen einbezogen ist. Das Merkmal kann mit einer Speziallampe betrachtet werden.

2.3 Das Metal Cap Seal

Da das metal cap seal im vorliegenden Bericht als Alternativsiegel betrachtet wird, soll es hier ebenfalls kurz beschrieben werden (siehe Abbildung II-2). Es besteht aus einem Basisteil, einem Deckel und einem Draht. Im Basisteil befinden sich zwei Öffnungen, durch die der Draht gefädelt wird. Bei der Anbringung des Siegels wird der Draht durch Versiegelungspunkte des zu versiegelnden Gegenstandes gezogen. Die Drahtenden werden im Siegelbasisteil miteinander fest verbunden. Anschließend wird der Siegeldeckel fest aufgedrückt. Basisteil und Deckel werden durch einen inneren Federmechanismus zusammengehalten, der zwangsläufig bei Öffnung des Siegels irreparabel beschädigt wird. Die Anbringung des Siegels läßt sich schnell und ohne große Handhabungsschwierigkeiten durchführen. Auf dem Deckel sind äußerlich sichtbar Identifikationsnummer und Zeichen der Kontrollbehörde angebracht. Bei der visuellen Überprüfung vergleicht der Inspektor vor Ort Nummer und einwandfreien Zustand (Integrität) des Siegels. Für eine genaue Überprüfung der Siegelidentität muß das Siegel geöffnet werden. Auf den Innenseiten der Siegelteile sind willkürliche Kratzer angebracht, die fotografisch dokumentiert werden mußten. Diese Kratzer müssen verifiziert werden. Da das Siegel nicht im angebrachten Zustand verifiziert werden kann, muß es in regelmäßigen Zeitabständen ausgetauscht werden.

3. Auswahl der zu untersuchenden Anlagenteile

3.1 Randbedingungen aus den Facility Attachments

Für die Uran-Anreicherungsanlage Gronau bestehen zum jetzigen Zeitpunkt weder Facility Attachments noch werden Verhandlungen darüber geführt. Wegen der starken Ähnlichkeit zur SP4-Anlage in Almelo kann man jedoch davon ausgehen, daß die Safeguardsmaßnahmen für Gronau von Almelo stark beeinflusst werden. Es war daher unerlässlich, sich am derzeitigen Stand des Facility Attachment-Entwurfes für Almelo zu orientieren und mit dem Betreiber in Almelo eng zusammenzuarbeiten. Auch dieser hatte ein großes Interesse an den Untersuchungen im Hinblick auf die Implementierung der Safeguardsmaßnahmen in seinen Anlagen.

Im folgenden werden ausgehend von den H.S.P.-Ergebnissen die für den FA-Entwurf wesentlichen Aussagen zusammengefaßt.

1. Bestimmte Design Informationen über den Kaskadenbereich werden unter der Obhut des Betreibers aber mit einem Safeguardssiegel geschützt aufbewahrt. Dieses Siegel darf nur von den Kontrollbehörden gebrochen werden.
2. In Übereinkunft mit dem Betreiber können folgende C & S-Instrumente und -Geräte installiert werden :

- Außerhalb des Kaskadenbereiches

Siegel an Proben und Containern, die zur Eichung benutzt werden,

Siegel für PIV-Zwecke,

Siegel an Safeguardsgeräten und Standards,

Siegel an Ventilen und Flanschen außerhalb des Kaskadenbereiches, wo anwendbar und vereinbart,

Gerätschaft zur vorübergehenden Beobachtung in Verbindung mit PIT/PIV.

Diese Maßnahmen dürfen vom Betreiber nur nach Vorankündigung gebrochen (Siegel) oder beeinflusst (Gerät) werden.

Ohne Vorankündigung darf der Betreiber bei Notwendigkeit die folgenden Siegel brechen :

Siegel an inventory items nach Vollendung der PIV,

Siegel an UF_6 -Behältern außerhalb der PIV-Periode.

- Innerhalb des Kaskadenbereiches

Gerätschaft für die vorübergehende Beobachtung der äußeren Kaskadenbegrenzung während der LFUA-Inspektionen, falls anwendbar und vereinbart,

Siegel an Ventilen und Flanschen, falls anwendbar und vereinbart.

Diese Maßnahmen dürfen vom Betreiber nur nach Vorankündigung gebrochen (Siegel) oder beeinflusst (Gerät) werden.

3. Weitere Inspektionsaktivitäten an strategischen C & S-Punkten sind :

Anwendung, Prüfung, Abnahme und Ersatz von Siegeln,

Verifikation der Integrität versiegelter Behälter oder anderer versiegelter items,

Gebrauch vorübergehender C & S-Techniken an Ein- und Ausspeisestationen sowie UF_6 -Behälterlagern in Zusammenhang mit PIV-Aktivitäten,

Wartung von Beobachtungsgeräten, falls anwendbar und vereinbart.

4. In Verbindung mit der initial design information-Verifikation können Ventile und Flansche identifiziert werden, welche im Falle ihrer Eignung und Praktikabilität für eine Versiegelung in Betracht kämen. Mit dem Betreiber wäre hinsichtlich der Versiegelung Einvernehmen zu erzielen, desgleichen über den Einsatz vorübergehender C & S-Techniken an der Begrenzung des Kaskadenbereiches.

3.2 Untersuchte Anlagenteile

Auf der Grundlage dieses FA-Entwurfes wurden Anlagenteile in der Almeloer SP4-Anlage ausgewählt, die für die Versiegelungsuntersuchungen infrage kamen. Darüber hinaus wurden auch die bereits unter Safeguardsversiegelung befindlichen Produktbehälter /II-2/ im Hinblick darauf betrachtet, ob ein modernes Elektroniksiegel hier kostengünstiger und wirksamer eingesetzt werden könnte.

Andere als Produktbehälter /II-2/ wurden im Central Services Building der SP4-Anlage untersucht. Im Ein- und Ausspeisebereich der Trennanlage wurden Kühlboxen sowie Autoklaven betrachtet. Weiterhin wurden außerhalb des Kaskadenbereiches die Ventil-Hotboxen der Desublimatoren und die Chemiefallen untersucht. Im Kaskadenbereich wurden verschiedene Ventile in den Hallen 1 und 2 wegen der unterschiedlichen Kaskadenauslegungen betrachtet. Die Versiegelung von Türen zu den Kaskadenhallen wurde mit dem Betreiber diskutiert.

4. Untersuchungen und Bewertung

4.1 Vorgehen

Grundsätzlich stellen sich im Hinblick auf Safeguardsversiegelungen in der GUZ-Anlage vier primäre Fragen :

1. Ist die Versiegelung im einzelnen im FA spezifiziert ?
2. Ist eine spezifizierte Versiegelungsmaßnahme technisch möglich ?
3. Ist eine spezifizierte Versiegelungsmaßnahme für Safeguards sinnvoll ?
4. Welches Siegel sollte eingesetzt werden ?

Diese vier Fragen bildeten den Leitfaden für die gemeinsame Arbeit mit dem Betreiber in Almelo. Im Hinblick auf die lückenlose Auswertung und die daraus abzuleitenden Empfehlungen wurde ein Kriterienkatalog festgelegt, der eine weitgehend systematische Ergebnisbewertung ermöglichte. Die Kriterien sollen im folgenden kurz beschrieben werden.

4.2 Bewertungskriterien

Unter dem Begriff Bewertungskriterien sind alle Informationen zusammengefaßt, die mit einem spezifischen Versiegelungsproblem zu tun haben. Dazu gehören die technischen Möglichkeiten der Siegelanbringung, die Einsatzdauer, die Verifizierbarkeit, die zu erwartenden Umgebungseinflüsse, die Störanfälligkeit des Systems, die Handhabbarkeit, die Zuverlässigkeit und Fehlalarmwahrscheinlichkeit, die Betriebsbeeinträchtigungen sowie die reinen Safeguardsaspekte.

Anwendungsmöglichkeit

Es werden die technischen Gegebenheiten des spezifischen Siegels und Containments beschrieben und die technische Lösung des Versiegelungsproblems aufgezeigt.

Einsatzdauer

Die Dauer der Versiegelungsperiode wird abgeschätzt.

Verifizierbarkeit

Grundsätzlich muß das gesamte System Siegel/Containment verifizierbar sein. Inwieweit dies im Einzelfall Schwierigkeiten aufwirft, wird hier untersucht.

Umgebungseinflüsse

Die Kenntnis der auf die Safeguardsmaßnahme wirkenden Umgebungseinflüsse ist unerlässlich für eine Beurteilung der Lage.

Störanfälligkeit

Die Störanfälligkeit des Siegels hängt wesentlich von der Anwendung (technische Lösung) sowie den Umgebungseinflüssen ab.

Handhabbarkeit

Das Problem der Siegelanbringung wird bewertet.

Fehlalarmwahrscheinlichkeit und Zuverlässigkeit

Die Beurteilung nach diesen Kriterien ergibt sich unmittelbar aus der Störanfälligkeit und hängt oft vom Betriebszustand des Containments ab (z.B. UF_6 -Behälter im Lager bzw. auf dem Transport).

Intrusiveness

Ganz wesentlich ist die Bewertung einer Maßnahme danach, in welchem Maße der Betrieb der GUZ-Anlage beeinträchtigt wird. Zumindest soll hier aufgezeigt werden, welche Betriebsbeeinträchtigungen zu erwarten sind bei einer spezifischen Versiegelungsmaßnahme.

Safeguardszweck

Es wird spezifiziert, welchen Bezug im Safeguardskonzept die jeweilige Versiegelungsmaßnahme hat.

Safeguardsbewertung

Ein abschließendes Votum zur jeweiligen Versiegelungsmaßnahme wird abgegeben.

4.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der mit dem Betreiber durchgeführten Untersuchungen sind in tabellarischer Form nachfolgend zusammengefaßt worden. Zusätzlich zur Bewertung anhand der oben genannten Kriterien wurden der betrachtete Siegeltyp sowie ein möglicher alternativer Siegeltyp benannt. An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, daß lediglich in einem Fall eine Anwendungsmöglichkeit für das Klebesiegel gesehen wurde. Wie in Ziffer 2.2 erläutert ist es aus Gründen der Fälschungssicherheit nur sinnvoll, ein Klebesiegel auf metallischen Oberflächen anzubringen. Diese Voraussetzung wurde ausschließlich bei den Chemiefallen (siehe unten Tabelle II-7) gefunden und zwar bei Flanschverbindungen.

Hinsichtlich der möglichen technischen Lösungen bei der Versiegelung von UF_6 -Behältern sei im einzelnen auf /II-2/ verwiesen. Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der damaligen Untersuchungen kurz wiederholt. Der schematische Aufbau eines UF_6 -Behälters ist in Abbildung II-3 dargestellt.

Daraus ist ersichtlich, daß ein solcher Behälter ein Ventil sowie eine Verschlußschraube besitzt, die beide versiegelt werden müssen. Eine Aufstellung der gängigen UF₆-Behälter mit ihren Kenndaten enthält Tabelle II-1. Die Versiegelung der Verschlußschraube kann unter Ausnutzung der bereits vorhandenen Strukturen leicht vorgenommen werden. (siehe Abbildung II-4).

TABELLE II-1 : Kenndaten der betrachteten UF₆-Behälter

Modell	Nenn- durch- messer (inch)	für Material	Mindest- volumen (Liter)	Leer- gew. ¹ (kg)	max. Anrei- cherg. ² % U-5	UF ₆ - Füllung max. ⁷ (kg)
30 A	30	Feed, Produkt	726	635	5,0 ⁶	2245
30 B ³	30	Feed, Produkt	736	635	5,0 ⁶	2277
48 A	48	Feed	3084	2041	4,5 ⁶	9539
48 X ⁴	48	Feed	3084	2041	4,5 ⁶	9539
48 F	48	Feed	3964	2359	4,5 ⁶	12261
48 G ⁵	48	Tails	3936	1179	Tails	12701
48 Y ⁴	48	Feed	4041	2359	4,5 ⁶	12501

¹ Ungefähre Werte ohne Berücksichtigung der Ventilschutzkappen.

² Gewichtsanteil U-235 in %.

³ Dieses Modell ersetzt das Modell 30 A.

⁴ Modelle 48 X und Y ersetzen die Modelle 48 A bzw. F.

⁵ Nur für Tailslagerung konzipiert.

⁶ Bei Ausnutzung der max. Anreicherungsgrade Moderationskontrolle erforderlich, äquivalent einer 99,5 %-igen UF₆-Reinheit. Ohne Moderationskontrolle beträgt die erlaubte Maximalanreicherung 1,0 % in U-235.

⁷ Bei maximaler UF₆-Temperatur von 121°C.

Die Versiegelung des Ventils ist nicht ohne weiteres möglich. Dabei stellt sich folgende Problematik. Es muß sichergestellt werden, daß weder das Ventil geöffnet noch ganz aus dem Behälter herausgeschraubt werden kann. Daher muß neben dem Ventil auf der Behälterwand ein Bügel angebracht sein und zusätzlich mit einem Bügel die Ventilschraubspindel arretiert werden (siehe Abbildungen II-5 und II-6). Eine Bohrung in der Ventilschraubspindel als alternative Lösung zum Überwurfbügel erscheint aus Stabilitätsgründen problematisch und daher wenig akzeptabel. Die Versiegelung des Ventils ist nur mit dem metal cap seal möglich, da der Lichtleiter des VACOSS-Siegels mechanisch zu verletzlich ist, um stramm genug angezogen zu werden (siehe Abbildung II-7). Mit dem VACOSS-Siegel ist es jedoch durchaus möglich, die Ventilschutzkappe zumindest der Produktbehältertypen 30 A und 30 B zu versiegeln. Diese Versiegelung ist gleichwertig mit der Ventilversiegelung. Der Siegeldraht bzw. Lichtleiter wird durch die Ösenbolzen gezogen (siehe Abbildung II-8). Dadurch besteht kein unkontrollierter Zugang mehr zum Ventil. Allerdings kann bei dieser Lösung der Betreiber keine Kontrolle an dem Ventil auf Dichtigkeit (z.B. Wischtest) vornehmen, da das Ventil mit aufgesetzter Schutzkappe nicht unmittelbar zugänglich ist. Strahlenschutzgründe zwingen somit den Betreiber, auf der Zugänglichkeit des Ventils zu bestehen.

TABELLE II-2 : 30" UF₆-Behälter für Produktmaterial

Siegeltyp	VACOSS 3
Anwendungsmöglichkeit	(a) aufgesetzte Ventilkappe (Abb. II-8) (b) Verschlußschraube (Abb. II-4) Siegel ist im angebrachten Zustand zugänglich, muß zur Entlastung des Lichtleiters und zum Schutz in Tasche hängen. Party Line-Betrieb ist möglich.
Einsatzdauer	kurz-, mittel- und langfristig; gefüllte Produktbehälter können durchaus für längere Zeiträume in der GUZ-Anlage gelagert werden, bevor sie zur Brennelement-Fabrikation geschickt werden.
Verifizierbarkeit (Siegel, Containment)	Siegel ohne Schwierigkeit verifizierbar, da zugänglich; Behälterintegrität schlecht verifizierbar wegen Schutzanstrich.
Umgebungseinflüsse	im P-Lager: Innenraumverhältnisse, im Normalfall keine Probleme; Stoß- und Quetschgefahr bei Handhabung des Behälters in Anlage und auf Transport.
Störanfälligkeit	nur bei Handhabung und auf Transport (Stoß- u. Quetschgefahr für Siegel)
Handhabbarkeit	Siegelanbringung sollte problemlos vor sich gehen.
Fehlalarmwahrscheinlichkeit Zuverlässigkeit	Fehlalarmw. bei Handhabung u. Transport steigend; Zuverlässigkeit des Siegels dürfte im 'ruhenden' Lagerbetrieb groß genug sein; Siegelfunktion erfüllbar.
Intrusiveness	im Prinzip vom Betreiber akzeptiert; problematisch bei Handhabung und Transport, wenn Fehlalarmw. durch Verletzbarkeit des Siegels steigt; party line-Betrieb im Lager ist intrusive.
Alternativer Siegeltyp	metal cap seal (derzeit verwendet)
Safeguardszweck	Festschreiben der Kenntnis über Produktmaterial (continuity of knowledge)
Safeguardsbewertung	Versiegelung des Produkt-Behälters gilt als 'appropriate'; Versiegelung mit VACOSS-Siegel nur für 'ruhenden' Lagerbetrieb positiv bewertbar, jedoch nicht im party line-Betrieb, da Verkabelung stört.

TABELLE II-3 : UF₆-Behälter

Siegeltyp	VACOSS 3
Anwendungsmöglichkeit	Sicherung des UF ₆ -Ventils (Abb.II-6) Überwurf zur Arretierung der Ventils- spindel ist notwendiges Zubehör; Ventil- kappe muß aufsetzbar sein.
Einsatzdauer	kurz-, mittel- und langfristig im Lager
Verifizierbarkeit (Siegel, Containment)	Ventilkappe muß abgenommen werden; Behälterintegrität wegen Schutzanstrich schlecht verifizierbar.
Umgebungseinflüsse	Siegel gut geschützt da innerhalb der Ventilkappe.
Störanfälligkeit	Lichtleiter wird stark belastet, da möglichst geringe Bewegungsfreiheit für den Überwurf gefordert werden muß; Lichtleiter muß festgezogen werden, da- durch Reiß- und Knickgefahr; Unterbrin- gung des Siegels in Ventilkappe beein- trächtigt.
Handhabbarkeit	Anbringungsmöglichkeit des Siegels muß infragegestellt werden, da Raum in Ventilkappe begrenzt und Siegel bei straff gespanntem Lichtleiter keine Be- wegungsfreiheit hat.
Fehlalarmwahrscheinlichkeit Zuverlässigkeit	Fehlalarmw. steigt bei Belastung des Lichtleiters, Zuverlässigkeit des Sie- gels sinkt; Lichtleiter kann reißen u. an scharfen Kanten zerschnitten werden; optische Kontaktflächen können ver- schmutzen, opt. Stecker brechen.
Intrusiveness	steigt, da back up-Maßnahmen vorgesehen werden müssen.
Alternativer Siegeltyp	metal cap seal (derzeit verwendet bei P)
Safeguardszweck	Festschreiben der Kenntnis über Kern- materialinhalt
Safeguardsbewertung	Versiegelung mit VACOSS-Siegel negativ aus technischen Gründen; Versiegelung von F- und T-Behältern mit Alternativ- siegel allenfalls während der PIV sinnvoll.

TABELLE II-4 : Kühlbox

(UF₆-Ausspeisestationen: Luftkühlung bei P-BehälternH₂O-Kühlung bei T-Behältern

Begleitheizung von Rohr u. Ventil)

Siegeltyp	VACOSS 3
Anwendungsmöglichkeit	(a) Tür der Kühlbox; Versiegelung kein Problem (b) UF ₆ -Ventil am Behälter: Versiegelung technisch noch ungelöst; Temperatur- u. Feuchtigkeitsprobleme.
Einsatzdauer	während der UF ₆ -Abfüllung
Verifizierbarkeit (Siegel, Containment)	(a) ohne Probleme, da Siegel zugänglich (b) entfällt
Umgebungseinflüsse	(a) keine Probleme (b) entfällt
Störanfälligkeit	(a) keine Probleme, wenn Siegel in Tasche hängt, damit Lichtleiter unbelastet (b) entfällt
Handhabbarkeit	(a) keine Probleme (b) entfällt
Fehlalarmwahrscheinlichkeit Zuverlässigkeit	(a) keine Probleme (b) entfällt
Intrusiveness	(a) Probleme, da Betreiber betriebliche Vorgänge rechtfertigen muß (b) entfällt
Alternativer Siegeltyp	metal cap seal
Safeguardszweck	Kontrolle der Ausspeisestation (z.B. als Fluß-SMP)
Safeguardsbewertung	Versiegelung nur sinnvoll während einer PIV

TABELLE II-5 : Autoklav

(UF₆-Einspeisestationen: Aufheizung des F-BehältersT_{max} = 121°C im Autoklav)

Siegeltyp	VACOSS 3
Anwendungsmöglichkeit	Tür des Autoklav; Versiegelung nicht ohne Zusatzmaßnahme an Tür und Autoklavkörper möglich; technisch noch ungelöst
Einsatzdauer	während der Einspeisung von UF ₆ in den Prozeß
Verifizierbarkeit (Siegel, Containment)	keine Probleme zu erwarten, wenn Versiegelung gelöst, da Siegel zugänglich
Umgebungseinflüsse	möglicherweise Temperaturproblem
Störanfälligkeit	keine Probleme, wenn Siegel in Tasche, damit Lichtleiter unbelastet
Handhabbarkeit	keine Probleme
Fehlalarmwahrscheinlichkeit Zuverlässigkeit	keine Probleme
Intrusiveness	Probleme, da Betreiber betriebliche Vorgänge rechtfertigen muß (wechselnder Betrieb)
Alternativer Siegeltyp	metal cap seal
Safeguardszweck	Kontrolle der Einspeisestation (z.B. als Fluß-SMP)
Safeguardsbewertung	Versiegelung nur sinnvoll während einer PIV

TABELLE II-6 : Desublimator

(Wegen Begleitheizung Ventile in Hotboxen untergebracht; $T_{\max} = 70^{\circ}\text{C}$)

Siegeltyp	VACOSS 3
Anwendungsmöglichkeit	fernbediente Ventile können nicht versiegelt werden; Handventile* erfordern konstruktive Änderung bevor versiegelbar
Einsatzdauer	wechselnd
Verifizierbarkeit (Siegel, Containment)	keine Probleme zu erwarten, wenn Versiegelung gelöst, da Siegel zugänglich
Umgebungseinflüsse	Temperaturprobleme
Störanfälligkeit	VACOSS bis 50°C ausgelegt; darüber muß Ausfall des Siegels angenommen werden; Schutz gegen Überhitzung wäre vorzusehen
Handhabbarkeit	keine schwerwiegenden Probleme absehbar
Fehlalarmwahrscheinlichkeit Zuverlässigkeit	abhängig von Lösung des Temperaturproblems
Intrusiveness	Probleme, da Betreiber betriebliche Vorgänge rechtfertigen muß (wechselnder Betrieb)
Alternativer Siegeltyp	metal cap seal
Safeguardszweck	Kontrolle des Kernmaterialflusses
Safeguardsbewertung	Versiegelung sinnvoll allenfalls während einer PIV (z.B. Probenahmeanschluss)

* Beschreibung

- (a) außerhalb der Hotbox:
 - 1. vom Prozeß zum Desublimator
 - 2. zum Absaugsystem
 - 3. zum Probenahmeanschluss
- (b) innerhalb der Hotbox: zur Kühlbox

TABELLE II-7 : Chemiefallen

(Sofern nicht mit Automatikventil betrieben; werden
sowohl in Verbindung mit fest installierten als
auch fahrbaren Pumpständen betrieben.)

Siegeltyp	(1) VACOSS 3 (2) Klebesiegel
Anwendungsmöglichkeit	(a) Handventil; konstruktive Lösung erforderlich für VACOSS und metal cap seal (b) Rohrverbindung (Flansch); Versiegemöglich mit Klebesiegel
Einsatzdauer	etwa ein Jahr
Verifizierbarkeit (Siegel, Containment)	keine Probleme zu erwarten, wenn Versiegelung gelöst, da Siegel zugänglich
Umgebungseinflüsse	keine Probleme, wenn Temperatur <50°C
Störanfälligkeit	VACOSS bis 50°C ausgelegt; darüber muß Ausfall des Siegels angenommen werden; Schutz gegen Überhitzung wäre vorzusehen
Handhabbarkeit	keine Probleme absehbar
Fehlalarmwahrscheinlichkeit Zuverlässigkeit	abhängig von Existenz eines Temperaturproblems
Intrusiveness	Probleme, da Betreiber betriebliche Vorgänge rechtfertigen muß
Alternativer Siegeltyp	für (a): metal cap seal
Safeguardszweck	Kontrolle des Kernmaterialflusses
Safeguardsbewertung	Versiegelung sinnvoll allenfalls während einer PIV

TABELLE II-8 : Ventile in UF₆-Leitungen

(Sofern nicht mit Automatikventil betrieben; sowohl außerhalb als auch innerhalb der Trennhallen, insbesondere bei Probenahmepunkten, ggf. Tailsmodeventile)

Siegeltyp	VACOSS 3
Anwendungsmöglichkeit	Handventil; konstruktive Lösung erforderlich für VACOSS und metal cap seal
Einsatzdauer	etwa ein Jahr und länger
Verifizierbarkeit (Siegel, Containment)	Probleme zu erwarten, da Zugänglichkeit unterschiedlich
Umgebungseinflüsse	keine Probleme
Störanfälligkeit	keine Probleme
Handhabbarkeit	keine Probleme, wenn konstruktive Lösung entsprechend
Fehlalarmwahrscheinlichkeit Zuverlässigkeit	keine Probleme
Intrusiveness	Probleme, da Betreiber betriebliche Vorgänge rechtfertigen muß; Sicherungssystem der Kaskaden sowie Betriebsflexibilität müssen gewährleistet sein
Alternativer Siegeltyp	metal cap seal
Safeguardszweck	Kontrolle des Kernmaterialflusses
Safeguardsbewertung	Versiegelung sinnvoll allenfalls während einer PIV

TABELLE II-9 : Türen der Kaskadenhallen

Siegeltyp	VACOSS 3
Anwendungsmöglichkeit	Versiegelung der Türen, die für Normalbetrieb nicht benutzt werden
Einsatzdauer	etwa ein Jahr
Verifizierbarkeit (Siegel, Containment)	keine Probleme
Umgebungseinflüsse	keine Probleme
Störanfälligkeit	keine Probleme
Handhabbarkeit	keine Probleme
Fehlalarmwahrscheinlichkeit Zuverlässigkeit	keine Probleme
Intrusiveness	Probleme, da Betreiber Benutzung der Türen rechtfertigen muß
Alternativer Siegeltyp	metal cap seal
Safeguardszweck	Kontrolle der Containment-Integrität
Safeguardsbewertung	Versiegelung nicht sinnvoll, da Betreiber das Recht hat, bestimmte Informationen im Kaskadenbereich vor dem Inspektor zu schützen.

TABELLE II-10 : Koffer für Dokumente und Geräte

Siegeltyp	VACOSS 3
Anwendungsmöglichkeit	zur Kontrolle über Safeguardsgerät, Eichstandards oder Design Informationen
Einsatzdauer	etwa ein Monat
Verifizierbarkeit (Siegel, Containment)	keine Probleme
Umgebungseinflüsse	keine Probleme
Störanfälligkeit	keine Probleme
Handhabbarkeit	keine Probleme
Fehlalarmwahrscheinlichkeit Zuverlässigkeit	keine Probleme
Intrusiveness	keine Probleme
Alternativer Siegeltyp	metal cap seal
Safeguardszweck	Sicherung der Authentizität
Safeguardsbewertung	positiv

5. Konklusionen

5.1 Behälter für UF_6 -Produktmaterial

Die Safeguardsversiegelung dieser Behälter ist gängige Praxis und vom Betreiber akzeptiert. Die Anwendung eines VACOSS-Siegels zur Sicherung der aufgesetzten Ventilkappe einerseits und der Verschlußschraube andererseits ist möglich aber nur im 'ruhenden' Lagerbetrieb positiv bewertbar. Bei Behälterhandhabungen besteht die Gefahr der Siegelbeschädigung, da das im Vergleich zum gängigen metal cap seal größere und massereichere VACOSS-Siegel schwerer gegen Stoß und Quetschungen zu schützen ist. Hier bedarf es noch weiterer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Ein party line-Betrieb mit VACOSS-Siegeln im Produktbehälterlager ist technisch möglich. Da jedoch Produktbehälter in beliebiger Reihenfolge gehandhabt werden (unterschiedliche Adressaten), kann eine party line-Verkabelung für die zentrale Siegelabfrage im Produktbehälterlager nicht empfohlen werden. Der Betreiber wäre damit beschäftigt, die empfindlichen Abfragekabel zu schützen und neu zusammenzustecken, um dem Safeguardsinspektor die Siegelabfrage zu erleichtern. Bei Beschädigung der Kabelverbindungen müßte der Inspektor doch wieder zu jedem einzelnen Siegel gehen, um es mit Hilfe seiner Abfrageeinheit auszulesen. Darüber hinaus genügt es nicht, die Integrität eines Siegels festzustellen, ohne auch diejenige des Behälters zu überprüfen. Jeder Behälter ist mit zwei Siegeln gesichert. Bei Anwendung des VACOSS-Siegels ist das Investitionsvolumen für die Versiegelung eines Produktlagers erheblich. Pro Behälter müßten etwa DM 9000,00 für zwei Siegel ausgegeben werden.

5.2 Andere UF_6 -Behälter

Eine Versiegelung von Behältern mit Feed- oder Tailsmaterial mit dem VACOSS-Siegel kann nicht empfohlen werden, da diese Behälter nicht wie die Behälter für Produktmaterial in geschlossenen Räumen gelagert werden. Witterungsbelastungen könnten zu nicht akzeptablen Ausfallraten des Siegels führen. So ist die Toleranz des Siegels bisher beispielsweise für den Temperaturbereich -10°C bis $+50^{\circ}\text{C}$ spezifiziert. Diese Grenzen könnten im Freien überschritten werden.

5.3 Kühlboxen

Eine Versiegelung der Beladetür der Kühlbox ist mit dem VACOSS-Siegel möglich und als vorübergehende Maßnahme in Verbindung mit einer physical inventory verification (PIV) sinnvoll. Alternativ könnte das metal cap seal in Betracht gezogen werden. Die Versiegelung des UF_6 -Ventils am UF_6 -Behälter, welches durch ein Loch in der rückwärtigen Stirnseite der Kühlbox zugänglich ist, wirft technische Probleme auf, die nicht gelöst sind und deren Lösung nicht Gegenstand von Untersuchungen sind.

5.4 Autoklav

Die Versiegelung der Beladetür des Autoklav ist technisch nicht gelöst; Ingenieurarbeiten wären notwendig. Eine Versiegelung wäre als vorübergehende Maßnahme in Verbindung mit einer PIV sinnvoll.

5.5 Desublimator/Hotbox

Die Ventile in Verbindung mit dem Desublimator befinden sich wegen der notwendigen Begleitheizung normalerweise in einer Hotbox. Sofern es sich um fernbediente Ventile handelt, sind sie ohnehin nicht versiegelbar. Bei Handventilen ist eine technische Lösung denkbar. In der Hotbox sind jedoch die Betriebsbedingungen für ein VACOSS-Siegel nicht geeignet, eher für ein metal cap seal. Eine Versiegelung von Handventilen in Richtung Absaugsystem oder Probenahmeanschluss wäre allenfalls in Verbindung mit einer PIV sinnvoll.

5.6 Chemiefallen

Die Versiegelung von Handventilen und Rohrverbindungen wäre allenfalls im Rahmen einer PIV sinnvoll.

5.7 Ventile in UF_6 -Leitungen

Die Versiegelung von Handventilen (z.B. am Probenahmeanschluss) ist, wenn überhaupt, nur in Verbindung mit einer PIV sinnvoll. Im Kaskadenbereich der

GUZ-Anlage erscheint es jedoch zum Teil nicht praktikabel, einen Inspektor Siegel anbringen zu lassen, selbst wenn ein Ventil versiegelbar ist. Die Zugänglichkeit mancher Kaskadenventile (z.B. für Tailsmode-Variation) ist stark eingeschränkt, so daß einerseits für die Sicherheit des Inspektors andererseits für die Sicherheit der Anlage eine Gefahr besteht. Die Versiegelung von Ventilen des Kaskadensicherheitssystems kann aus Sicherheitsgründen für den Anlagenbetrieb nicht infragekommen, abgesehen davon daß es sich hier um fernbediente Ventile handelt, für die eine Lösung zur Versiegelung nicht existiert.

5.8 Türen der Kaskadenhallen

Die Versiegelung von Türen, die im Normalbetrieb nicht benutzt werden (Notausgänge), wäre allenfalls in Verbindung mit einer PIV beim LFUA sinnvoll. Andererseits hat der Betreiber das Recht und die Möglichkeit, im Kaskadenbereich Informationen vor dem Inspektor zu schützen, so daß eine Türversiegelung insgesamt nicht sinnvoll ist.

5.9 Koffer

Es ist in Übereinstimmung mit den H.S.P.-Ergebnissen vorgesehen, design information unter der Betreiberobhut mit einem Safeguardssiegel zu sichern, das nicht vom Betreiber gebrochen werden darf. Hier würde sich beispielsweise anbieten, in einen Stahlschrank eingeschlossene Dokumenten- und Gerätekoffer zu versiegeln, um Kontrolle über die Authentizität der Dokumente zu haben. Darüber hinaus ließen sich auf diese Weise auch Safeguardsgeräte, Eichstandards u.ä. innerhalb von Schränken sichern. Als Siegel würden sich sowohl das VACOSS-Siegel als auch das metal cap seal eignen.

Verzeichnis der Zitate

- /II-1/ B.Richter, G.Stein, H.Reuters, I.G.Waddoups, The Joint U.S.-German Evaluation of Electronic Safeguards Seal Systems, Jül-Spez-230, Jülich, December 1983.
- /II-2/ R.Buttler, M.J.Canty, W.D.Lauppe, B.Richter, G.Stein, R.Müller, E.F.M.Steinebach, A.Rezniczek, Internationale Safeguards für Zentrifugenanlagen - Konzepte und Verfahren der Kernmaterialüberwachung und das internationale Hexapartite-Projekt, Jül-Spez-216, Jülich, August 1983, S. 88.

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. II-1 Das Siegelssystem VACOSS 3
- Abb. II-2 Vergleich von Metallsiegel und Elektroniksiegel
- Abb. II-3 Schematischer Aufbau eines UF_6 -Behälters
- Abb. II-4 Verschlußschraube am UF_6 -Behälter
- Abb. II-5 Versiegelung des UF_6 -Ventils (Bohrung, Bügel), schematisch
- Abb. II-6 Versiegelung des UF_6 -Ventils (Sicherungsbügel), schematisch
- Abb. II-7 Versuch einer Versiegelung des UF_6 -Ventils mit VACOSS-Siegel
- Abb. II-8 Ventilschutzkappe für Behältertypen 30 A und 30 B

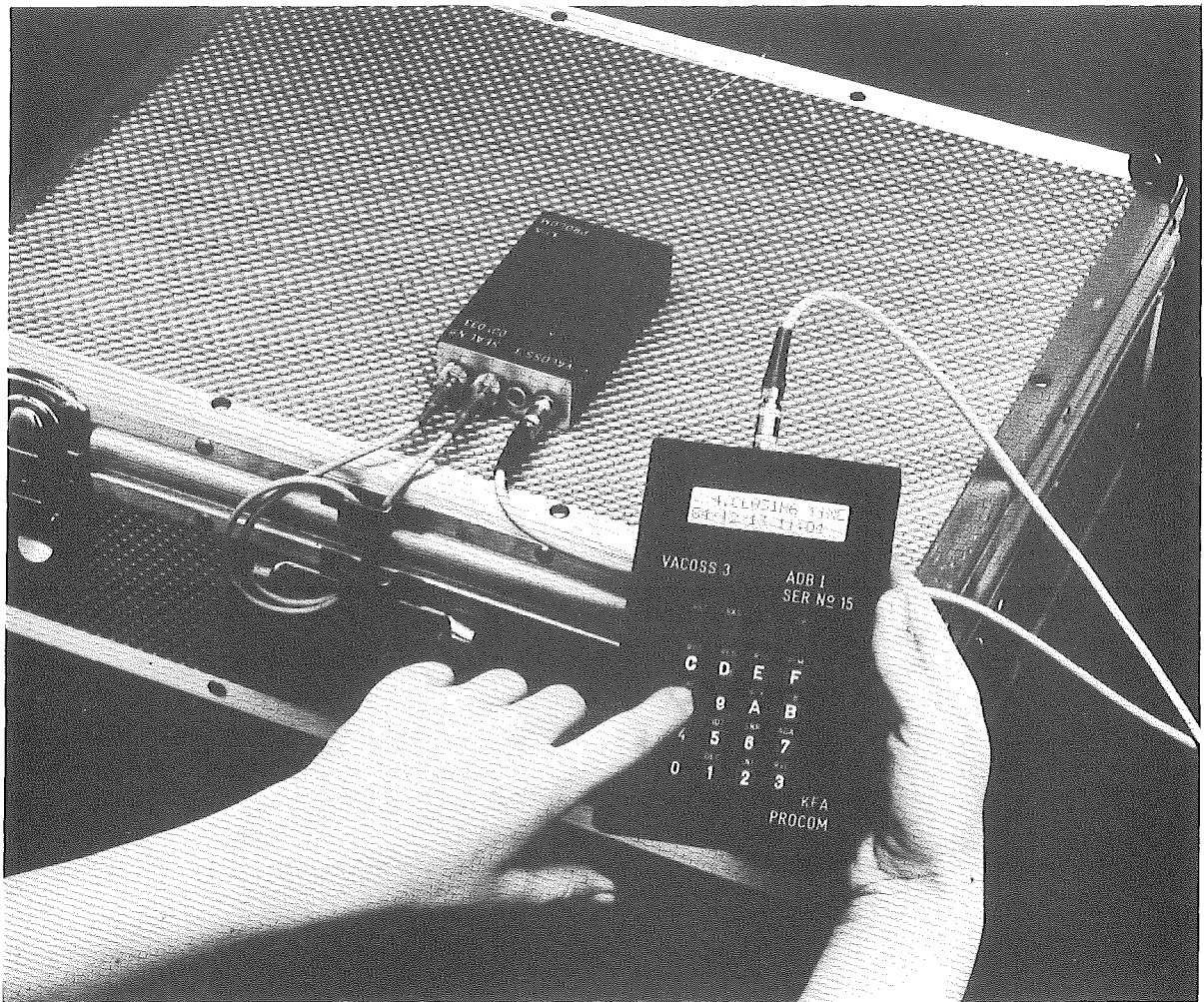
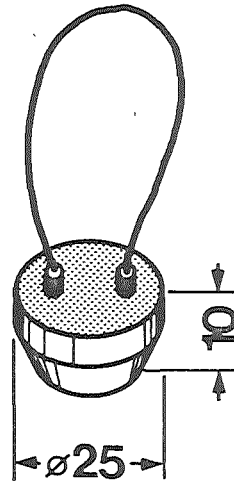


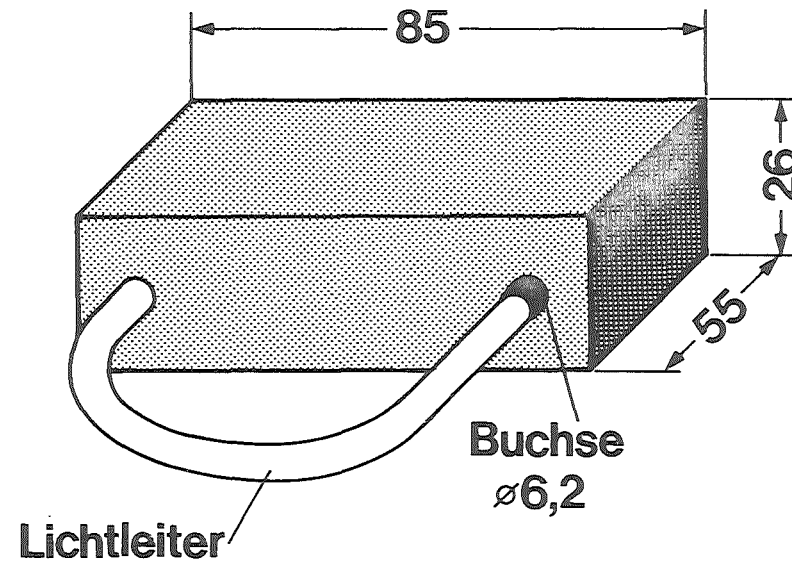
Abb. II-1 : Siegelsystem VACOSS 3

Siegeldraht
 $\varnothing 0,9 \div 1,2$



**Metall-
 siegel**

(Maße in mm)



Elektroniksiegel VACOSS

Abb. II-2: Safeguards-Siegel, Formen und Abmessungen

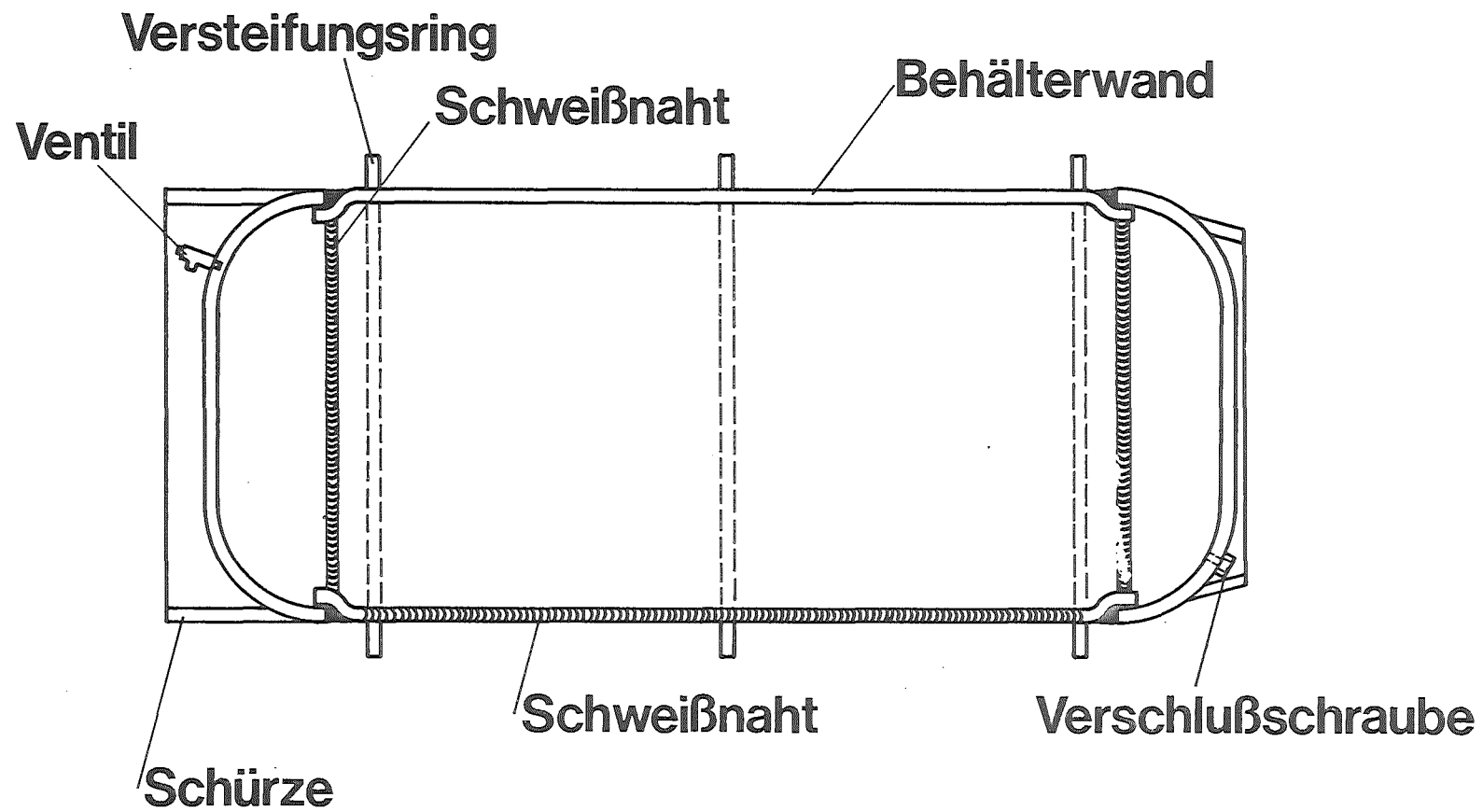


Abb. II-3: UF_6 -Behälter, schematisch

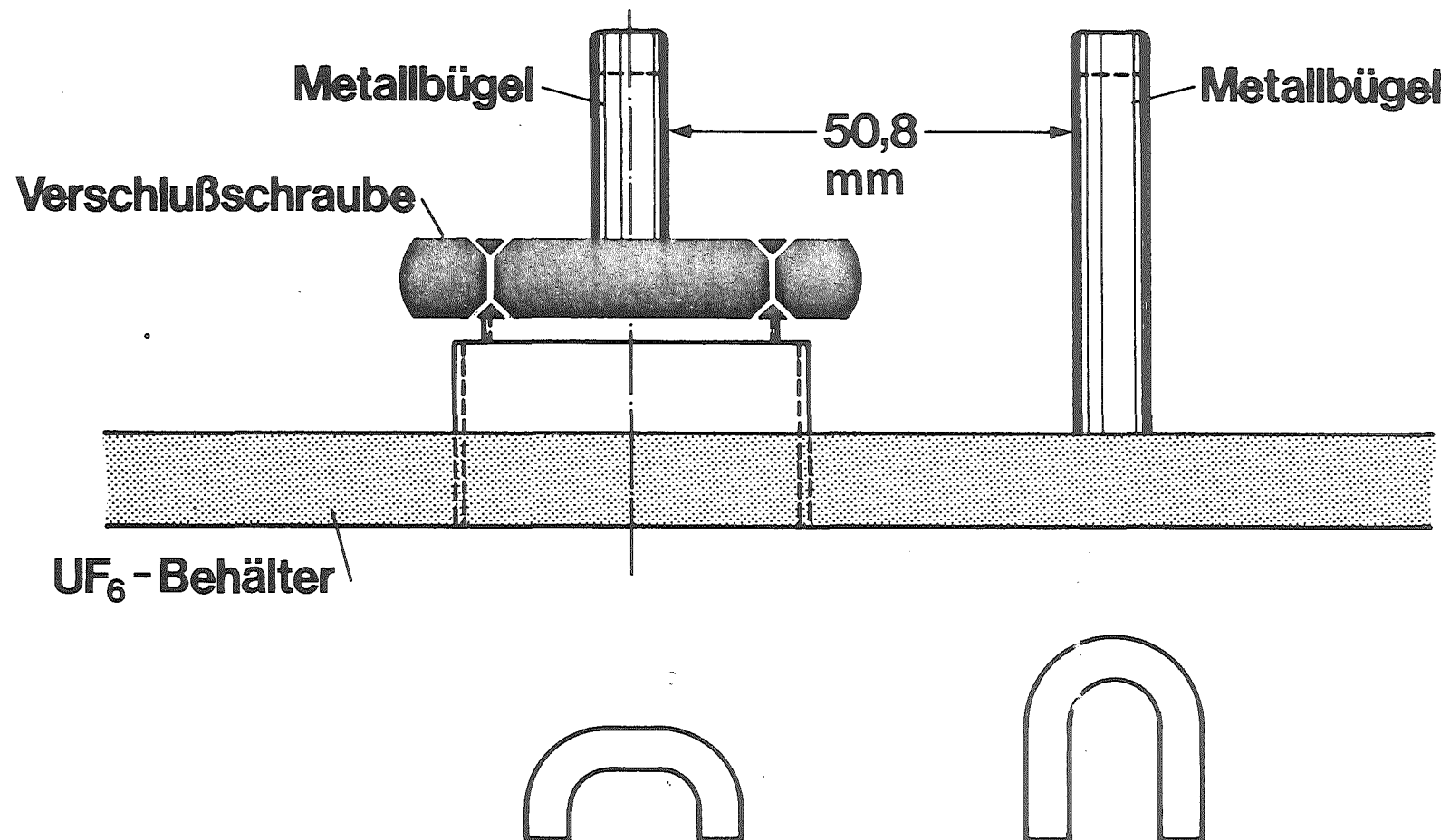


Abb. II-4: Verschlussschraube, Metallbügel

(Maße in mm)

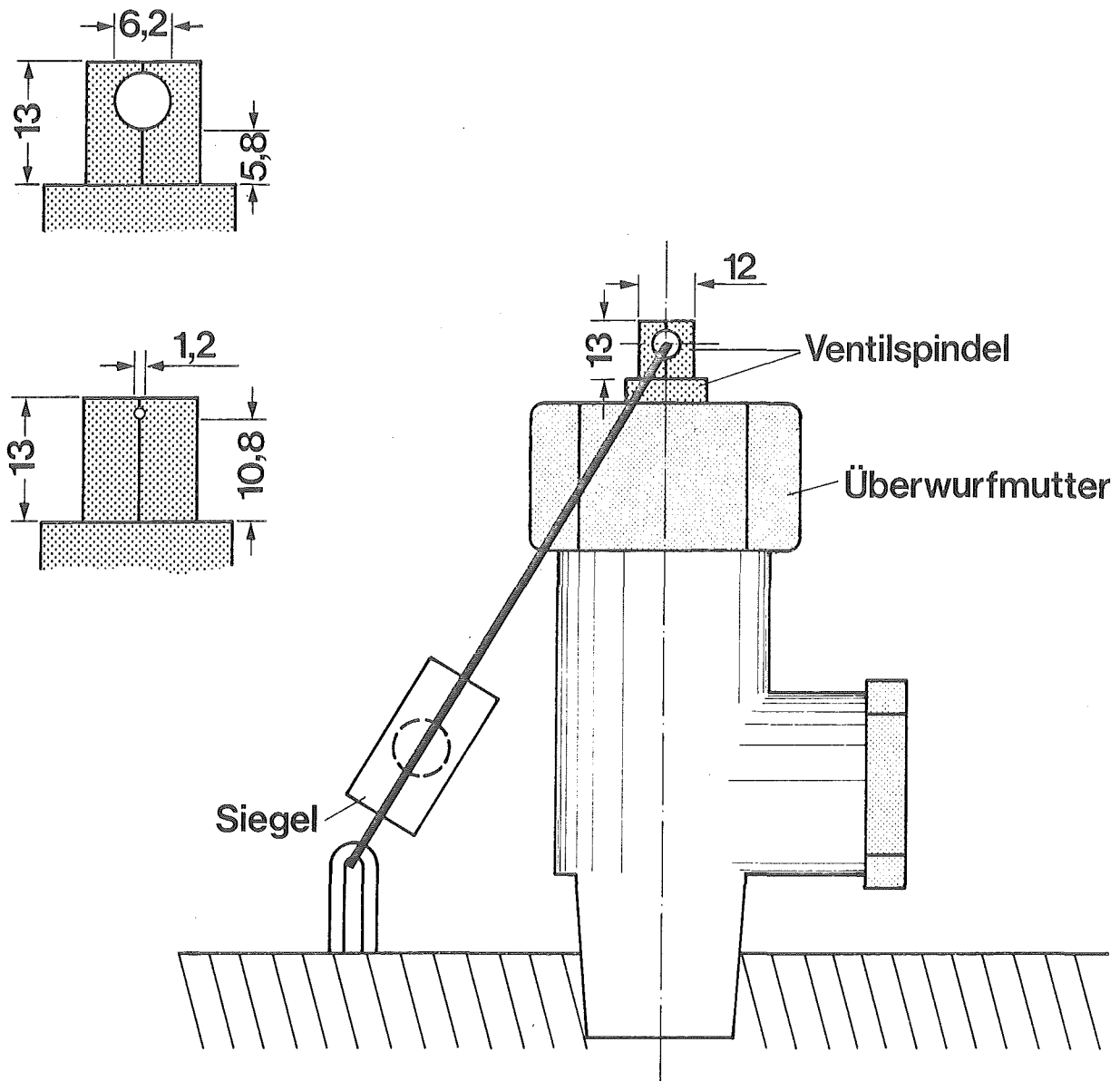


Abb. II-5: Bohrung durch den Vierkantzapfen der Ventilspindel

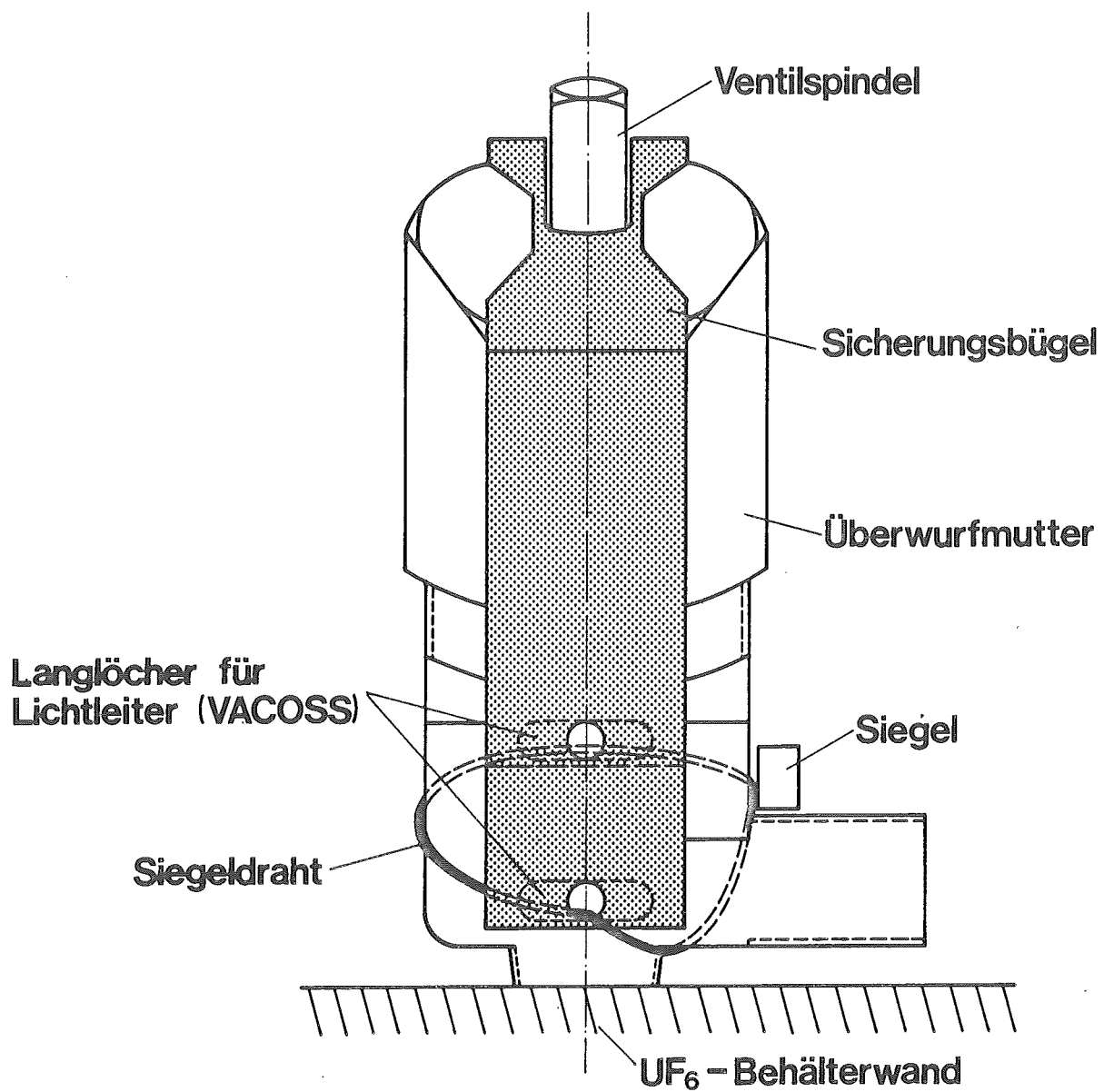


Abb. II-6: UF_6 -Ventil mit Sicherungsbügel und Siegel

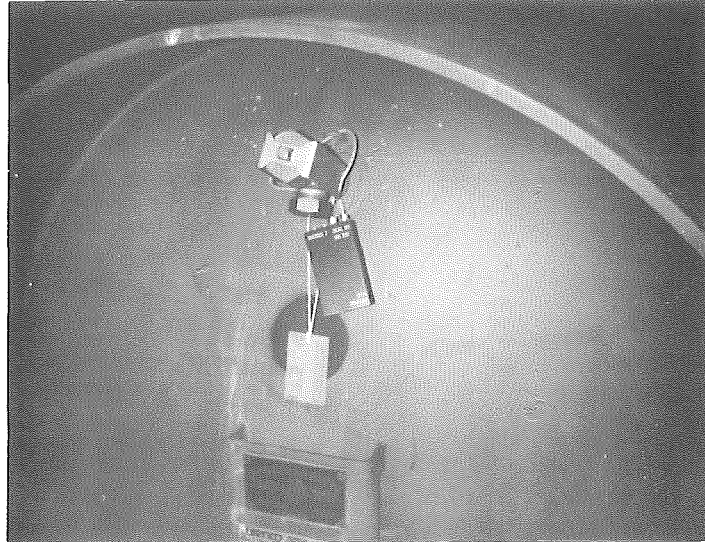


Abb. II-7 : Versuch einer Versiegelung des Behälterventils mit einem VACOSS-Siegel

(Maße in mm)

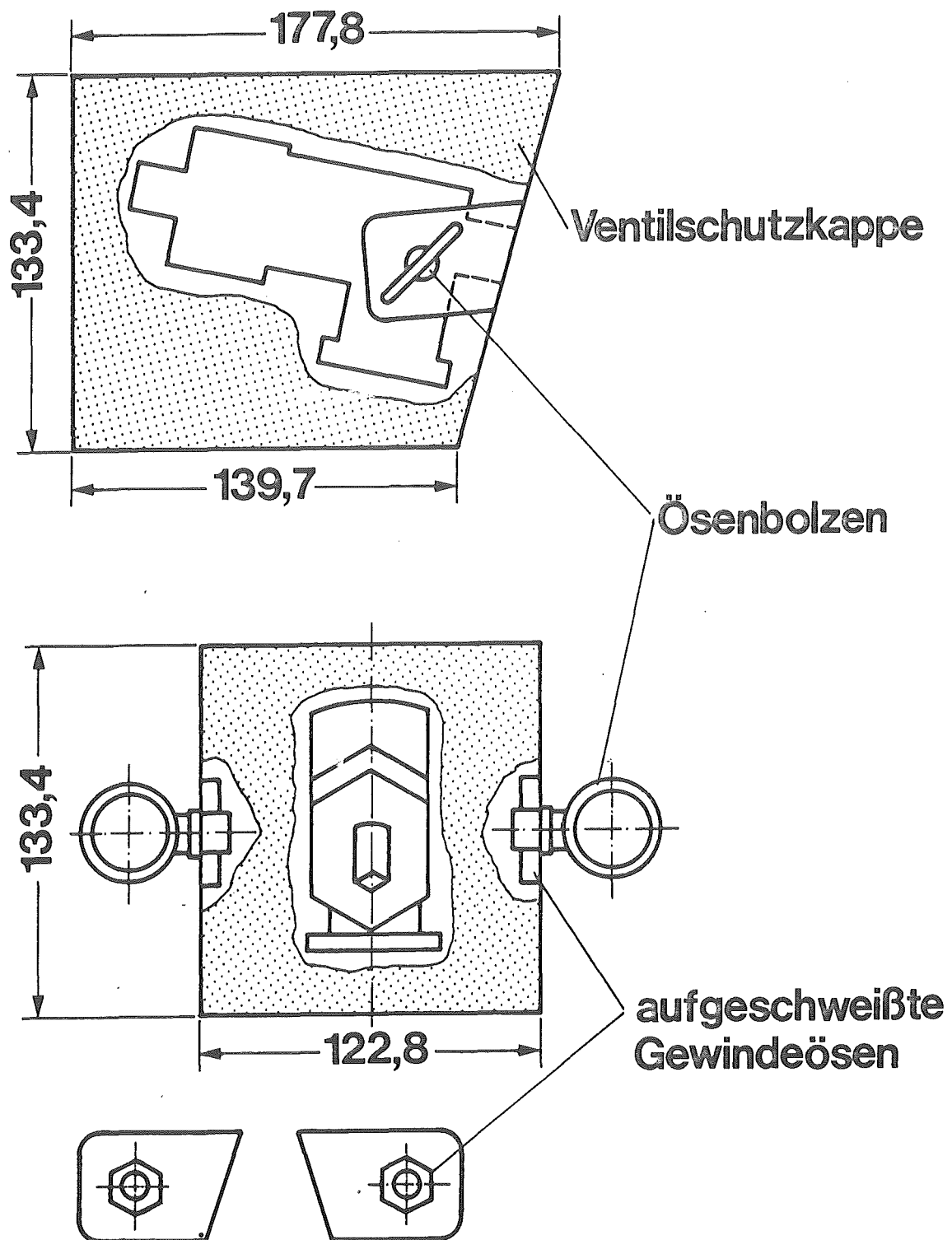


Abb. II-8: Ventilschutzkappe für Behältertypen 30A und 30B

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der Task C.14.7 "Field Testing of NDA-Equipment" des deutschen Unterstützungsprogramms für die IAEA wurden Messungen in der SP4 GUZ-Anreicherungsanlage in Almelo/Niederlande durchgeführt. Das Ziel war die Untersuchung der Anwendbarkeit von γ -Spektrometrie - gegenwärtig bereits verfügbar für die IAEA - an Uran-Hexafluorid-Leitungen zum Zweck der zerstörungsfreien Bestimmung der Uran-Anreicherung. Die Meßstelle mußte sich an den Produktleitungen zwischen der Topstufe und dem ersten Ventil befinden, also innerhalb des Kaskadenbereiches. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Hexapartite Safeguards Projektes sollte die Meßmethode eine "go/no go"-Feststellung in bezug auf eine laufende oder vorgelaufene Produktion von hochangereichertem Uran ermöglichen. Der Bericht gibt eine Einführung in die verwendete Meßmethode sowie die Auswertung. Die Meßergebnisse werden diskutiert und Konklusionen gezogen. Die untersuchte Methode ist für den Safeguardseinsatz nicht geeignet.

In der Gasultrazentrifugen-Anreicherungsanlage SP4 wurden Versiegelungsmöglichkeiten untersucht. Die Arbeiten wurden ausschließlich mit dem Betreiber durchgeführt. Es wurde in erster Linie das Elektroniksiegel VACOSS 3 betrachtet sowie als Alternativen das gängige metal cap seal und das in der Weiterentwicklung befindliche Klebesiegel. Die Randbedingungen einer möglichen Siegelanwendung und die Auswahl der relevanten Anlagenteile wurden in Verbindung mit den in Almelo laufenden Verhandlungen zu den Facility Attachments gesehen. Die technischen Möglichkeiten der Versiegelung wurden aufgezeigt und die Versiegelung unter Safeguardsaspekten bewertet. Im Ergebnis läßt sich festhalten, daß die derzeitige Praxis der Versiegelung von Behältern, die Produktmaterial enthalten, mit einem herkömmlichen metal cap seal technisch der Versiegelung mit dem VACOSS-Siegel überlegen ist. Für die Versiegelung von Koffern, die beispielsweise Design Information oder safeguardsrelevante Geräte und Standards enthalten, würde sich das VACOSS-Siegel besonders eignen. Solche Koffer könnten vom Betreiber vereinbarungsgemäß in einem Stahlschrank unter Verschuß gehalten werden. Anlagenteile wie z.B. Autoklaven und Kühlboxen, aber auch Ventile in Rohrleitungen lassen sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt teilweise noch gar nicht befriedigend versiegeln, eine Versiegelung von Notausgängen erscheint möglich. Für solche letztgenannten Fälle sollte eine Versiegelung jedoch wenn überhaupt

nur vorübergehend während einer physical inventory verification im Rahmen des LFUA ins Auge gefaßt werden und nur dort wo anwendbar und vereinbart.